

Metody digitalizace telefonního signálu

Robert Bešťák

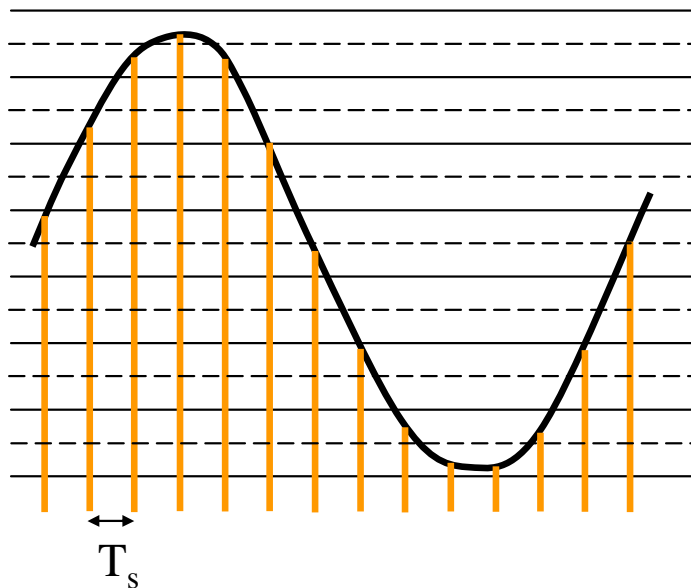
Digitalizace telefonního signálu

- Rozvoj digitální TK je spjat s Pulsně kódovou modulací (PCM, Pulse Code Modulation)
 - Princip PCM patentován 1938 (H.A. Reeves)
 - Praktické uplatnění PCM od 60.let (…nástup číslicových IO)
- Digitální systémy využívají PCM k digitalizaci analogového (spojitého) signálu v kombinaci s principem časového dělení při sdružování signálů vedoucího k efektivnějšímu využití přenosových cest

Digitalizace (1/3) ...vzorkování

Analogový signál → Digitální signál

➤ **Vzorkování** (signál diskretní v čase)



Vzorkovací frekvence: $f_s = \frac{1}{T_s}$ [Hz]

Podle **vzorkovacího teorému**

(Shannon-Kotělnikov teorém) platí vztah mezi vzorkovací frekvencí a maximálním kmitočtem, který je schopen systém přenést

$$f_{\max} = \frac{f_s}{2} \text{ [Hz]}$$

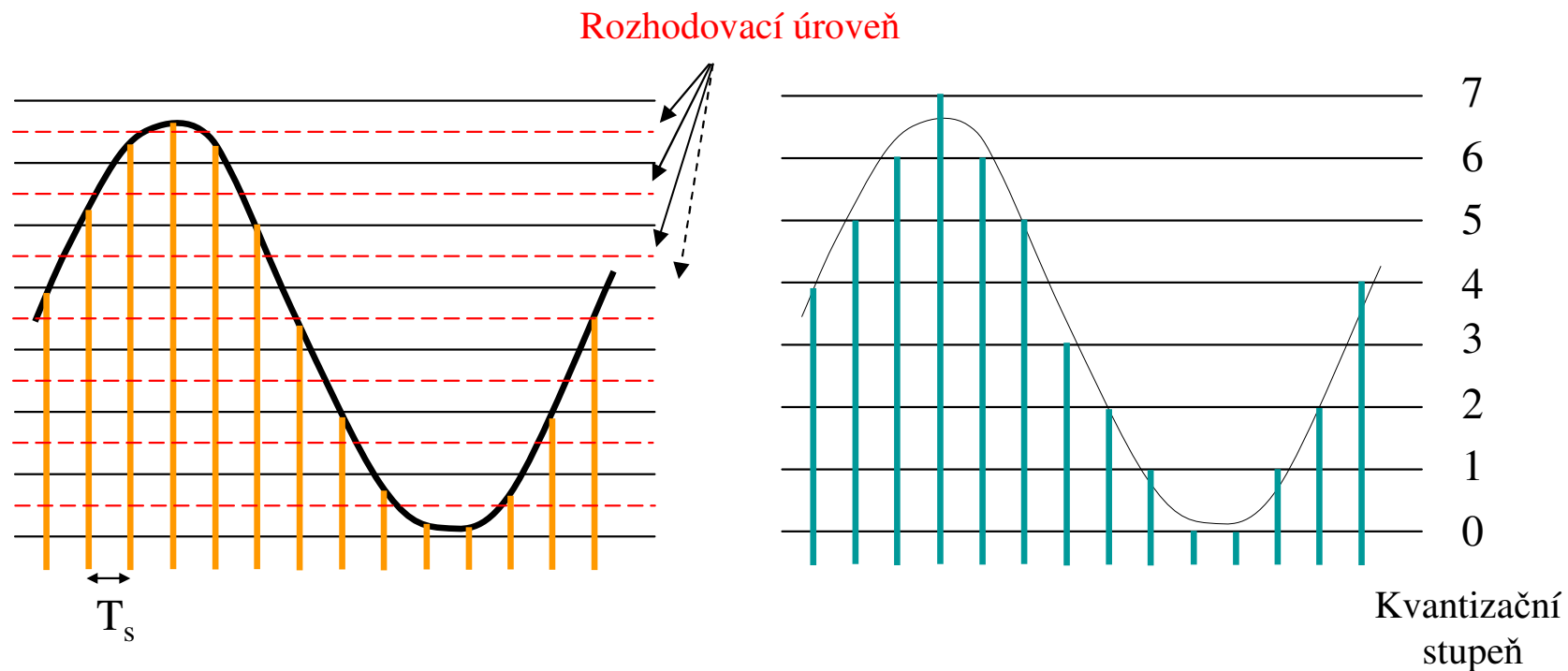
Pro signál s frekvencí f_{\max} je třeba odebrat za dobu jeho periody alespoň dva vzorky

Pro telefonní signál ($f_{\max} = 3400$ Hz) byl zvolen $f_s = 8000$ Hz

Digitalizace (2/3) ...kvantování

Analogový signál → Digitální signál

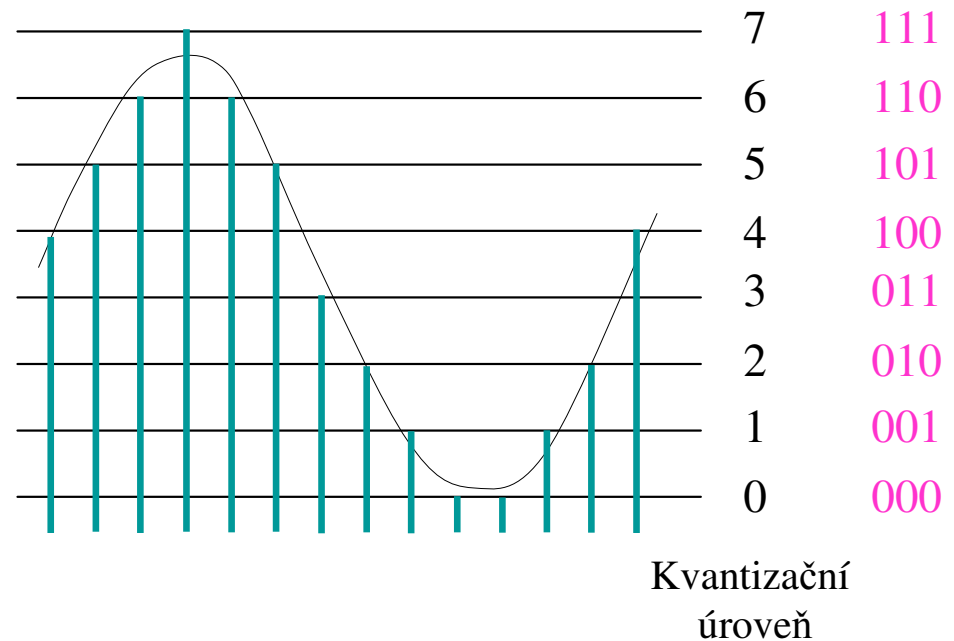
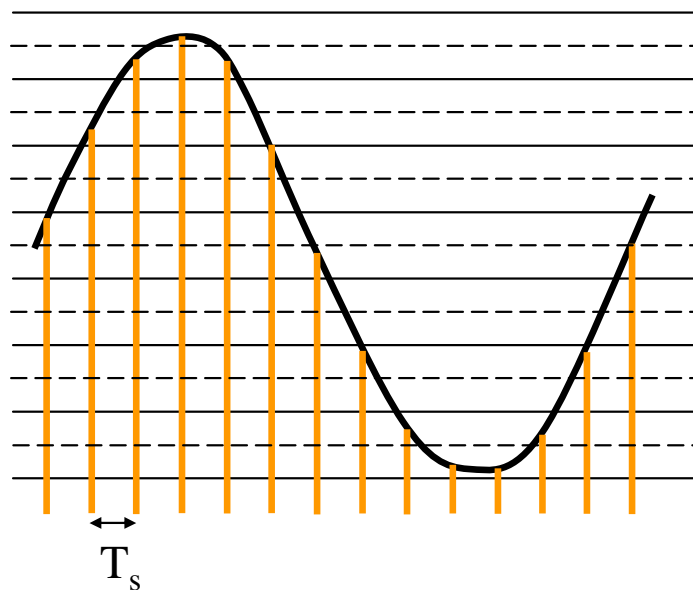
- **Vzorkování** (signál diskretní v čase)
- **Kvantování** vzorků v amplitudě (signál diskretní v čase&litudě)



Digitalizace (3/3) ...kódování

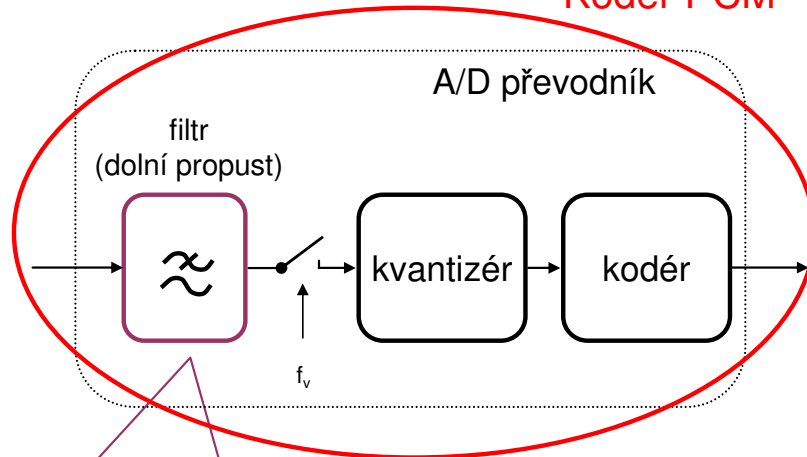
Analogový signál → Digitální signál

- **Vzorkování** (signál diskretní v čase)
- **Kvantování** vzorků v amplitudě (signál diskretní v čase&litudě)
- **Kódování** dvojkovým kódem (digitální signál PCM)



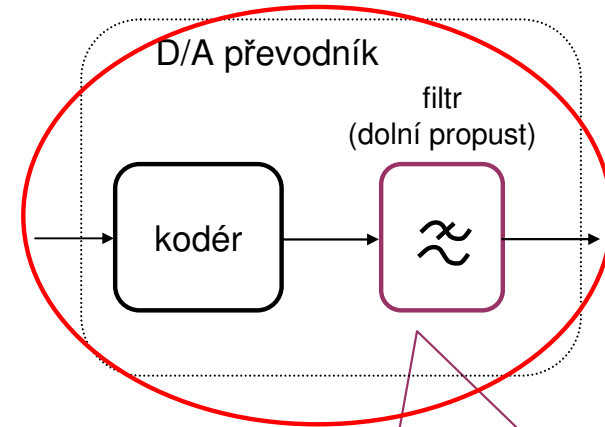
Kodek PCM

Kodér PCM



Odfiltruje kmitočtové složky nad mezním kmitočtem f_{\max}

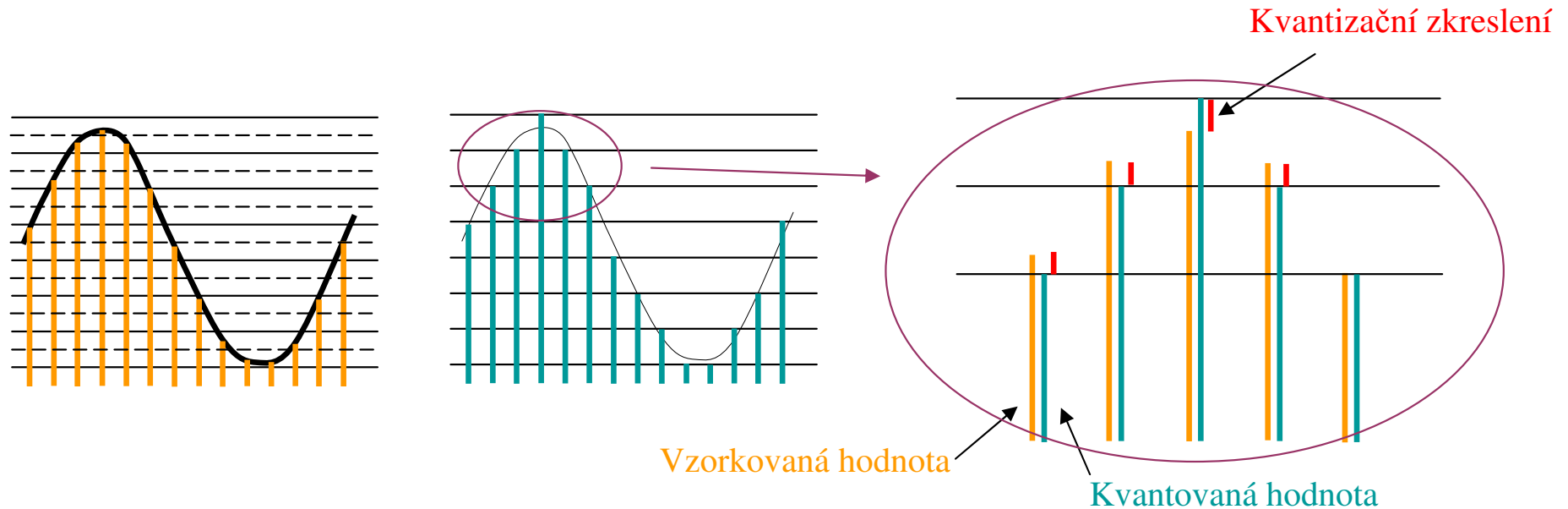
Dekodér PCM



DP (s mezní frekvencí f_{\max}) vyfiltruje posloupnost diskretních vzorků signálu, a tím se obnoví původní signál

V jednom koncovém zařízení najdeme obvody pro oba směry přenosu, tedy kodér a dekodér PCM, které dohromady označujeme výrazem kodek.

Kvantizační zkreslení



- **Kvantizační zkreslení (kvantizační šum)**
 - Zkreslení signálu díky kvantování (důležitý kvalitativní parametr při digitálním přenosu analogových signálů)
- ⇒ **Nelineární kvantování**
- Pro kvalitní přenos signálů nižších úrovní se využívá nerovnoměrného rozdělení kvantizačních stupňů (směrem k nule zhuštěné)

Kompresní charakteristiky

- Kompresní charakteristiky

- **A-zákon** (Evropa)

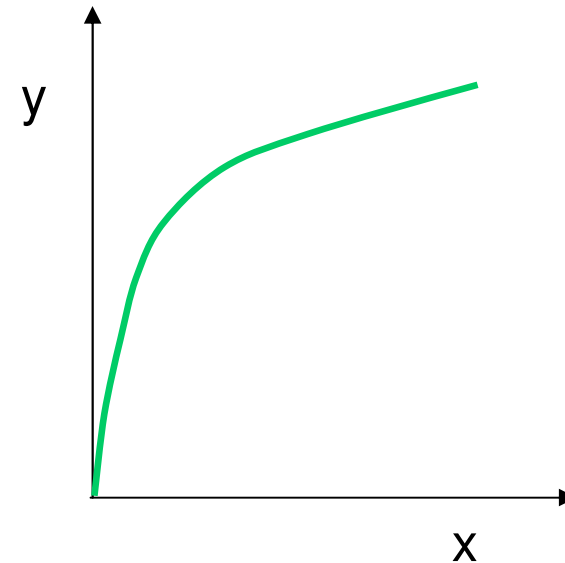
$$y = \operatorname{sgn}(x) \frac{A|x|}{1 + \ln A} \quad 0 \leq |x| < \frac{1}{A}$$

$$y = \operatorname{sgn}(x) \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A} \quad \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1$$

$$A = 87,6$$

- **μ -zákon** (USA a Japonsko)

$$y = \operatorname{sign}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad -1 \leq x \leq 1 \quad \mu = 255$$



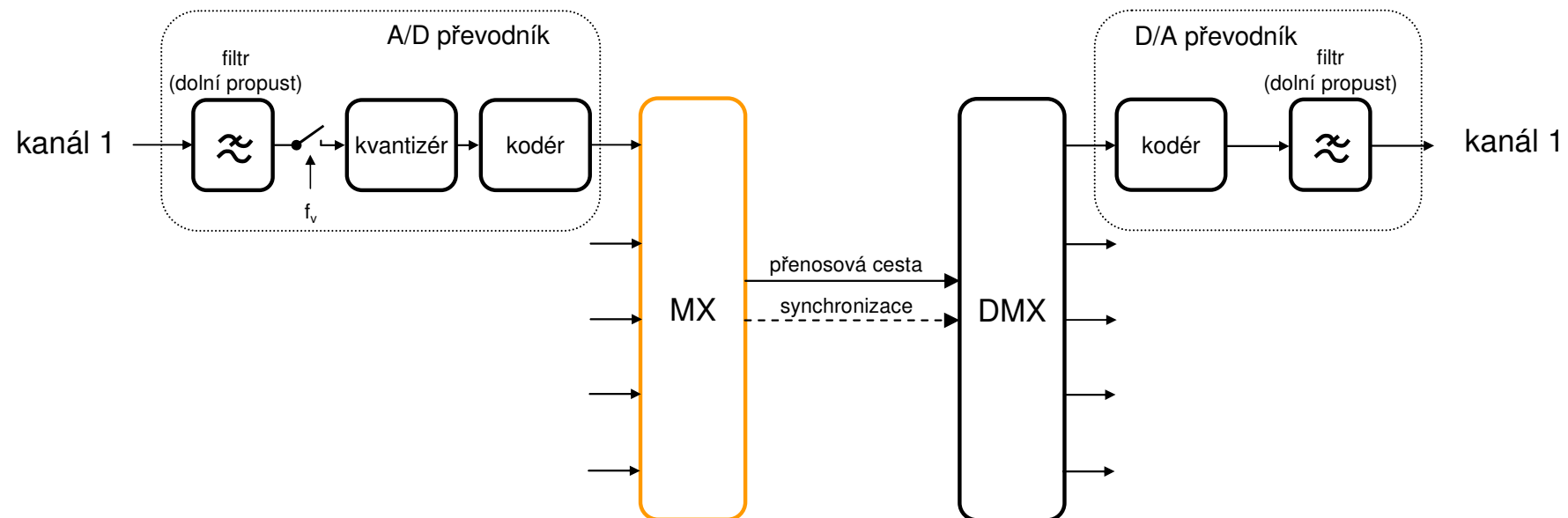
- Pro hovorový signál je standardizován 12 bitový A/D převodník s lineárním kvantováním a kódováním s následnou kompresí na 8 bitů
 - ... i slabší signál se pomocí 8 bitů přenese v kvalitě odpovídající 12 bitům
 - ...na přijímací straně se provádí inverzní operace - expanze

Hovorový signál

- Přenosová rychlost digitalizovaného telefonního signálu
 - Vzorkovací frekvence $f_s = 8000 \text{ Hz}$ ($T_s = 125 \mu\text{s}$)
 - Počet bitů $N = 8 \text{ bits}$ (každých $125 \mu\text{s}$)

$$v_p = N \cdot f_s = 8 \cdot 8000 = 64 \text{ kbit / s}$$

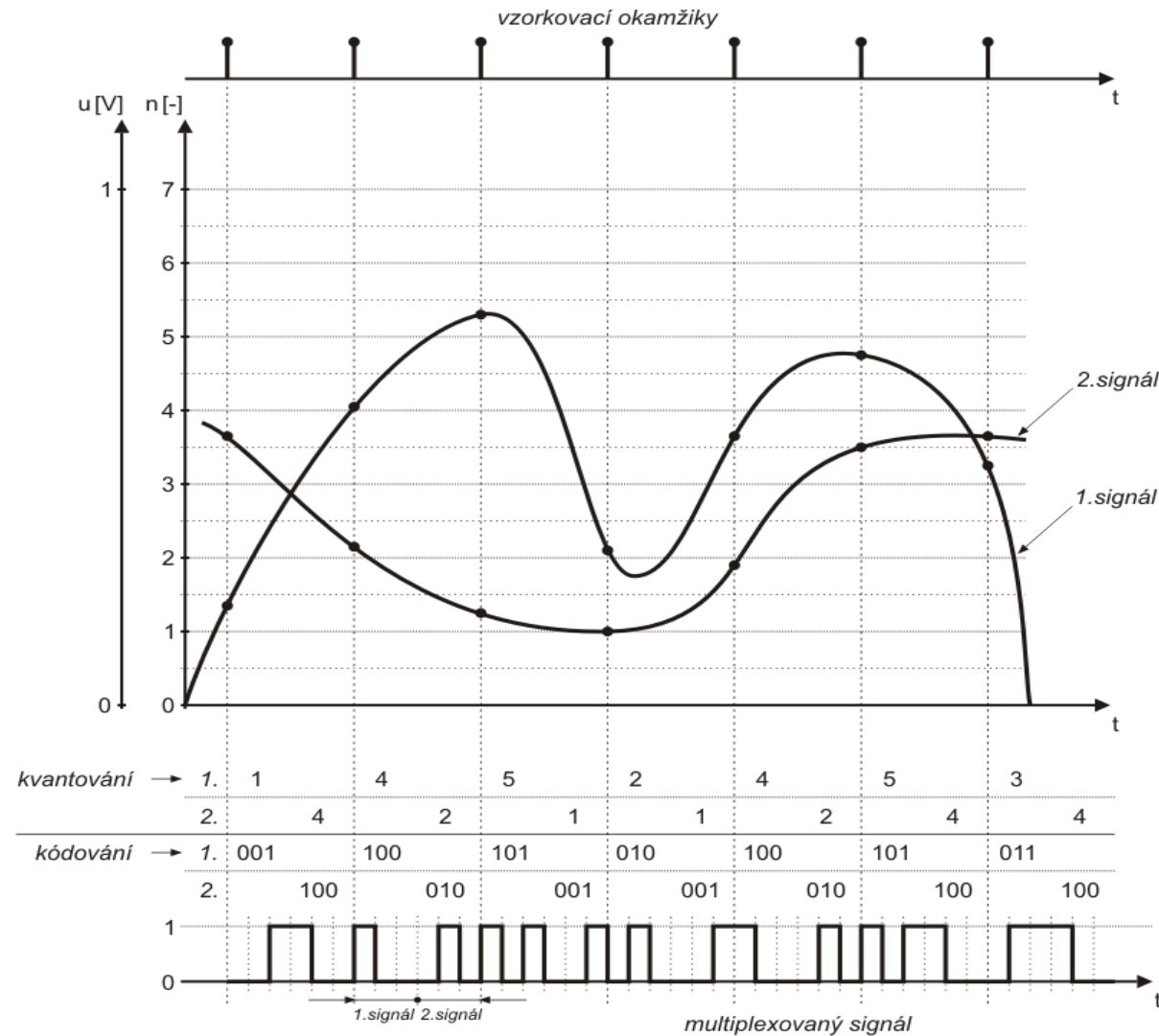
Sdružování signálů



MX (Multiplexor)

Sdružuje (multiplexuje) signály z jednotlivých kanálů

Sdružování signálů (2/2)



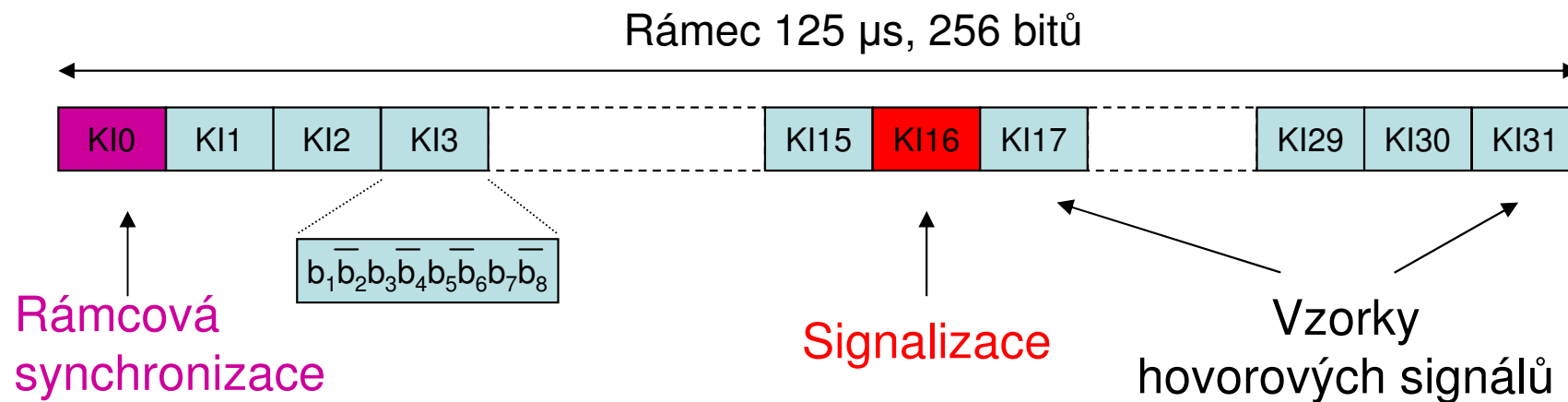
Signál PCM 1.řádu (E1)

- Signály jsou multiplexovány do rámce (Frame)
 - Přesně definovaná struktura (Data + Synchronizace a Signalizace)
- **Doba rámce (T_F)**
 - Čas potřebný pro přenos vzorků všech sdružených signálů

$$T_F = T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{8000} = 125 \mu s$$

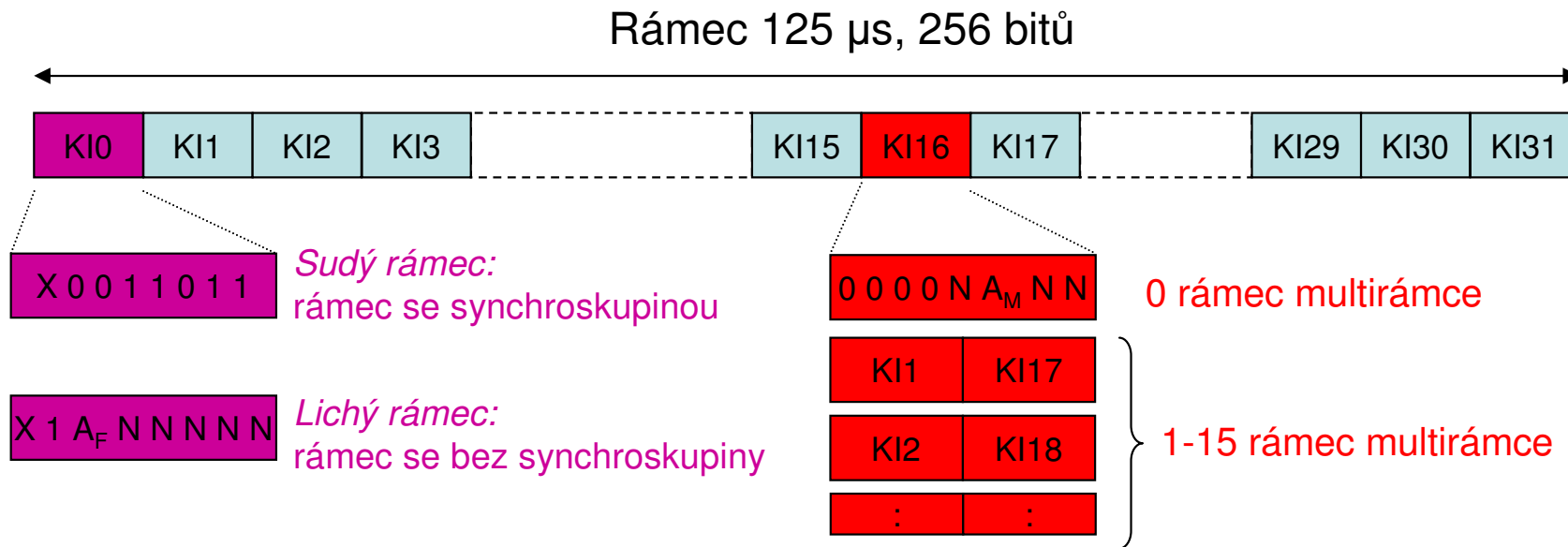
- **Rámec (Evropa)**
 - 32 Kanálových Intervalů KI (TS, Time Slot)
 - Značení PCM 30/32 nebo E1 (signál 1. řádu evropské hierarchie)
 - 30 telefonních kanálů, 2 pomocné kanály
 - E1 je základním stavebním kamenem digitálních telekomunikačních systémů

Signál PCM 1. řádu ...složení rámce



- Přenosová rychlost = $32 \times 64 \text{ kbit/s} = 2048 \text{ kbit/s}$
- 16 po sobě jdoucích rámců vytváří multirámec (4 ms)

Signál PCM 1. řádu ...složení rámce



➤ Sudé rámce

- slouží k rozpoznání začátku rámce
- přenos synchronizace rámcového souběhu (Frame Alignment Signal, FAS)

➤ Liché rámce (...přenáší další informace)

- A_F (ztráta rámcového souběhu)
- N (národní použití, např. dálkový dohled)
- X (lze využít pro detekci chyb - cyklický kód CRC 4; zabezpečuje se blok 8 po sobě jdoucích rámců)

➤ Signalizace přidružená k hovorovým kanálům (CAS, Channel Associated Signaling)

- KI 16: 0 rámec (přenos synchronizace multirámcového souběhu, MFAS - Multi FAS)
AM (ztráta multirámcového souběhu)
- KI 16: 1-15 rámec (přenos kanálové signalizace)
jeden rámec = signální bity pro dva kanály

Typy E1

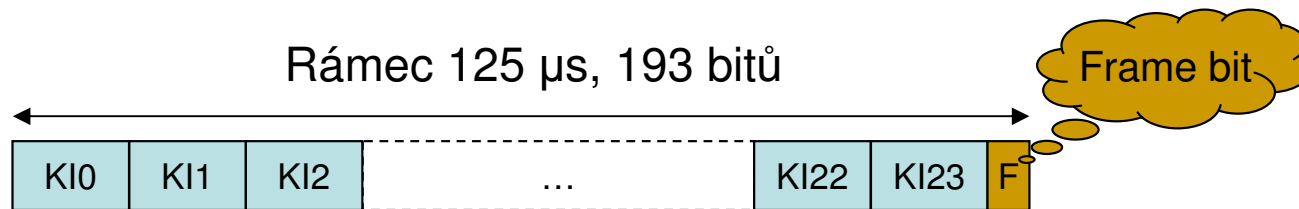
- **PCM30**
 - se signalizací CAS (multirámcová struktura s MFAS)
- **PCM30C**
 - se signalizací CAS (multirámcová struktura s MFAS) a zabezpečením CRC-4
- **PCM31**
 - bez multirámcové struktury MFAS
- **PCM31C**
 - bez multirámcové struktury MFAS se zabezpečením CRC-4

Přenos dat v rámci E1

- Přenos dat s rychlostmi
 - = 64 kbit/s
 - < 64 kbit/s
 - KI se dělí na jednotlivé bity, kde každý bit může nést jiný datový tok
 - > 64 kbit/s
 - KI se slučují v násobcích $N \times 64$ kbit/s ($\dots N \leq 31$)

Evropa vs. USA

- Americká a Japonská hierarchie je vybudována na rámcové struktuře PCM 24
 - Značení T1 nebo DS1



Přenosová rychlost = 24 x 64 kbit/s x 8 kbit/s = 1554 kbit/s

- Při mezikontinentální komunikaci je nutné provést
 - Převod z PCM 30/32 na PCM 24
 - Překódování z A-zákona na μ -zákon

Kódování telefonního signálů

- **DM** (Delta modulace)
 - Nepřenáší se informace o okamžité hodnotě přenášeného signálu, nýbrž info. změnách této hodnoty vůči hodnotě v předcházejícím vzorkovacím okamžiku
 - Konstantní kvantizační krok (Δu)
- **ADM** (Adaptivní Delta Modulace)
 - Proměnný kvantizační krok (Δu)
- **DPCM** (Diferenciální PCM)
 - Přenáší se informace o rozdílu mezi okamžitou hodnotou vzorku a hodnotou predikovanou (předvídanou) z předcházejících vzorků
- **ADPCM** (Adaptivní DPCM)
 - ...Adaptivní – přizpůsobování vlastností kodéru/dekodéru DPCM krátkodobým vlastnostem kódovaného signálu
- **LP, RELP, CELP,...**

Metody multiplexování, přenosové systémy PDH a SDH

Sdružování (Multiplexování)

- Úkolem telekomunikačních systémů je
 - Sdružovat signály pro transport přenosovými cestami
 - Přizpůsobit sdružené signály pro přenos příslušným přenosovým prostředím

U přenosových systémů je snaha o co nejefektivnější využití přenosového prostředí

→ ekonomického zhodnocení přenosových cest se dosáhne jejich vícenásobným využitím

Metody multiplexování

Prostorové dělení	Prostorový multiplex	...více paralelních vedení
Obvodové dělení	Obvodový multiplex *	...obvodové dělení u nízkofrek. telef. přenosu
Kmitočtové dělení	Frekvenční multiplex	FDM (Frequency Divison Multiplex)
Časové dělení	Časový multiplex	TDM (Time Divison Multiplex)
Vlnové dělení	Vlnový multiplex	WDM (Wavelength Divison Multiplex)
Kódové dělení	Kódový multiplex	CDM (Code Divison Multiplex)

* Nízkofrek. přenosové prostředky využívaly **sdužených (fantomních) okruhů**. Za pomoci transformátorů s vyvedenými odbočkami bylo možné po dvojici dvoudrátových vedení přenášet 3 telefonní signály.

FDM, TDM

- Frekvenční dělení

- Princip

- Využívá se skutečnosti, že obvykle přenosová cesta disponuje širším pásmem kmitočtů, než dokážeme obsadit přenášeným signálem
 - Signály z jednotlivých kanálů se přesunou do vyšší kmitočtové polohy, tak aby se kanály nepřekrývaly

- Použití

- Obsazování radiového prostoru vysílači (každý má přiřazen svoji nosnou fr.), přípojky ADSL či VDSL
 - ... Dříve - přenos po kabelech u analogových nosných telefonních systémů

- Časové dělení

- Využití umožnil rozvoj číslicových integrovaných obvodů

- Princip

- Jednotlivým kanálům přiřazujeme na společné přenosové cestě jen přesně vymezený časový interval Δt a ostatní časové úseky využívají další kanály

- Použití

- PCM 1. a vyšších řádu, rádiové rozhraní GPRS/EDGE, atd.

WDM, CDM

- Vlnové dělení

- Princip

- Založen na vysílání optického záření na několika různých vlnových délkách po téměř optickém vlákne (každá vlnová délka nese jiný namodulovaný signál)
 - Princip je analogií frekvenčního multiplexování
 - Nepřenášíme jednotlivé kanály, ale digitálně multiplexované skupiny kanálů

- Typy

- DWDM (Dense WDM) - husté vlnové dělení, rozestup optických nosných pod 1 nm
 - CWDM (Coarse WDM) - hrubé vlnové dělení, rozestup optických nosných nad 10 nm

- Použití

- Optické sítě

- Kódové dělení

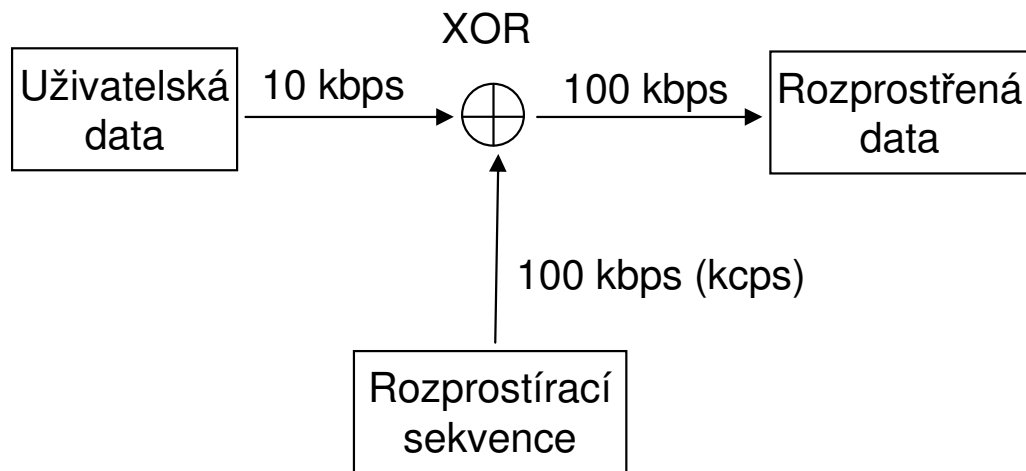
- Princip

- Ke sdružování se využívají kódy (pseudonáhodné sekvence), co kanál to jiný kód

- Použití

- Systémy využívající rozprostřené spektrum, např UMTS či bezdrátové LAN

CDM (1/3)



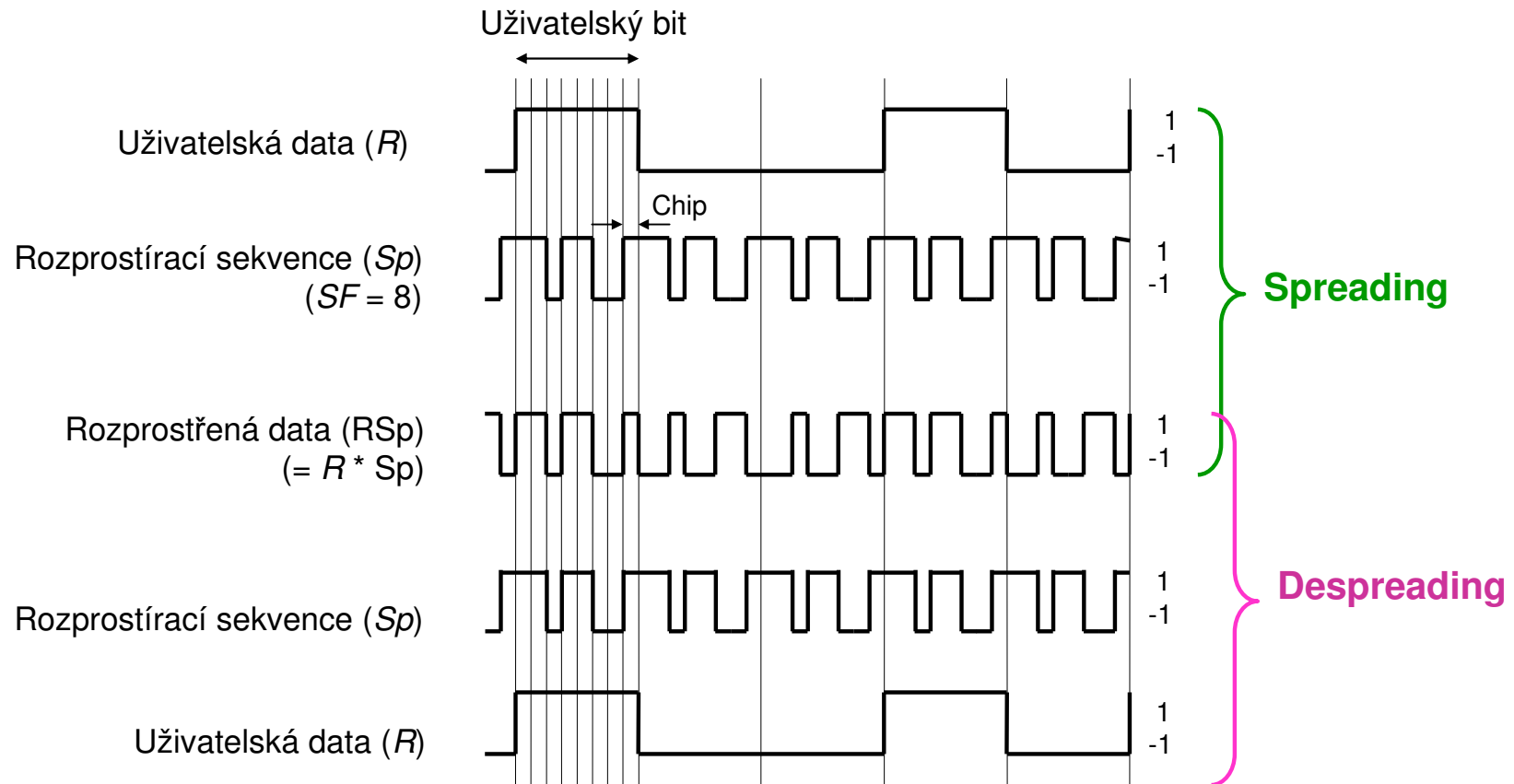
XOR

A	B	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A	B	$A \otimes B$
+1	+1	+1
+1	-1	-1
-1	+1	-1
-1	-1	+1

- Rozprostírání – uživatelský bit je násoben **n bity rozprostírací sekvence**
 - Bity rozprostírací sekvence = *chips*
 - # *chips* na jeden uživatelský bit = Rozprostírací faktor (*Spreading Factor*)

CDM (2/3)



CDM (3/3) ...kapacita kanálu

Hartley-Shannon law

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad [bit / s]$$

C - přenosová kapacita kanálu [bit/s]

B - frekvenční šířka kanálu [Hz]

S - výkon signálu [W]

N - výkon šumu [W]

↑ B ...pro stejný C
stačí menší S/N

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \Rightarrow C \approx \frac{B}{\ln(2)} \frac{S}{N} \Rightarrow \frac{S}{N} \approx \frac{\ln(2) * C}{B}$$

Způsoby komunikace

- Se spojováním

- Etapy

- Vytvoření spojení
 - Vlastní komunikace
 - Zrušení spojení

- Použití u spojování okruhů (KI u PCM či GSM), paketů (X.25), buňek (ATM), rámců (Frame Relay)

- Bez spojování

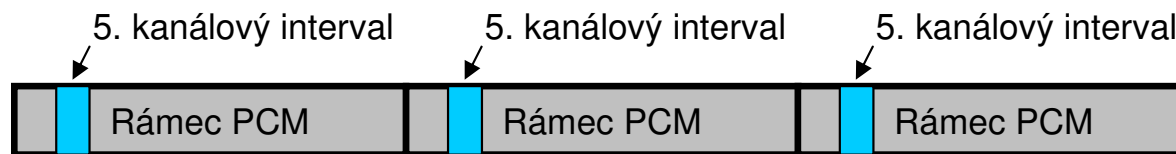
- Použití u sítí IP

Synchronní vs. Asynchronní mód

Rozdělení dle toho zda se určitý časový interval příslušný k jedné relaci vyskytuje *pravidelně* (synchronní mód) či *nepravidelně* (asynchronní mód)

- Synchronní přenosový mód

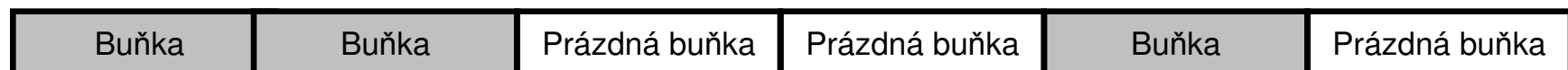
- Značen jako STM, ...či nepřesně taktěž TDM (...TDM je použit i asynch. módu)



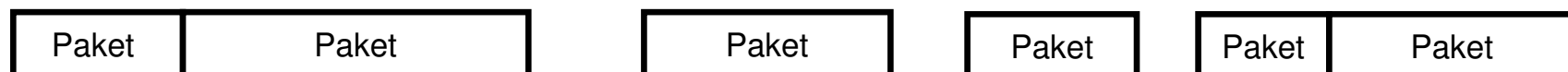
5 KI pravidelně přenáší vzorky stejného tel. signálu

- Asynchronní přenosový mód

- Značení ATM se používá již k označení konkrétní technologie

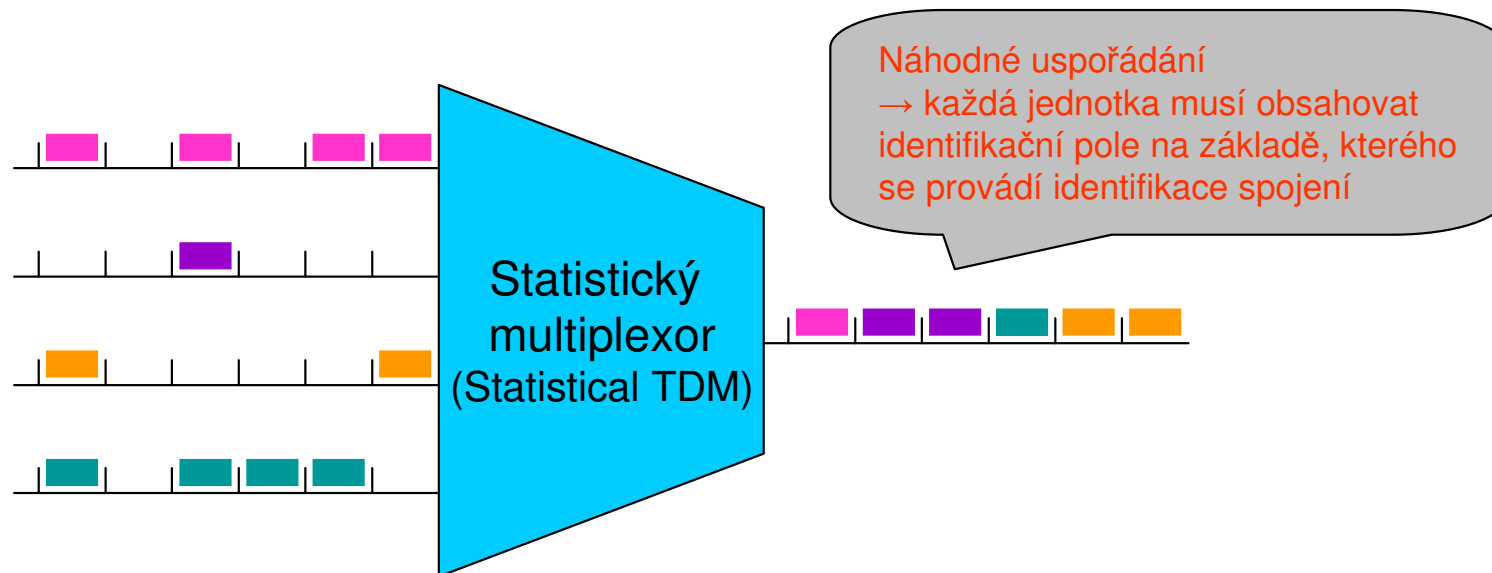


- Paktový přenos



Asynchronní mód ...statistické multiplexování

- Asynchronního mód umožňuje použít statistické multiplexování
 - Přenosové prostředky jsou obsazovány pouze v případě potřeby
→ možnost vytvářet kanály s proměnnou přenosovou rychlostí
 - Při sestavování spojení zdroj sdělí své požadavky (rychlost, zpoždění, atd.) na základě nichž je tok regulován tak, aby byly dodrženy požadavky ostatních spojení



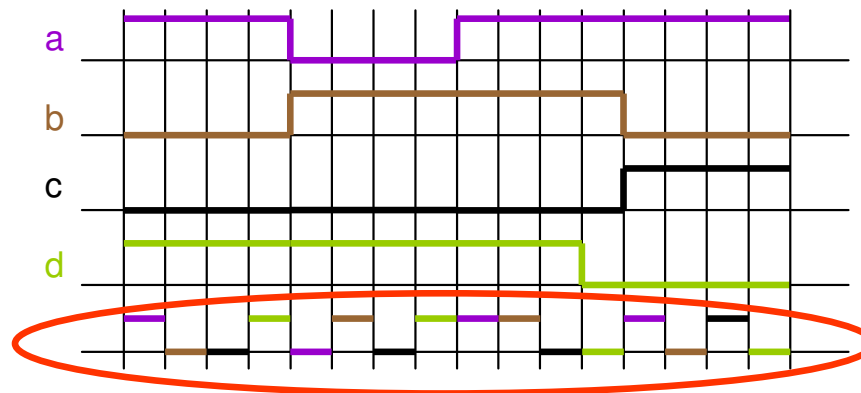
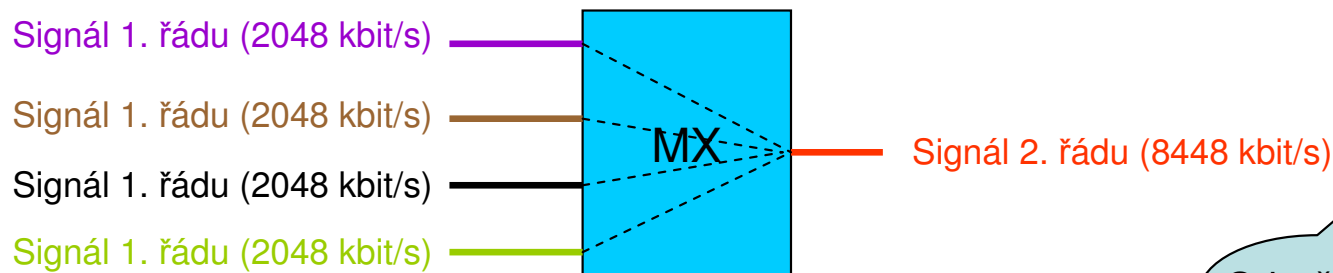
Digitální hierarchie

- Cíl
 - Digitální toky (audio, video, data apod.) multiplexovat ve vysokorychlostní signál, který je možné přenášet jediným spojem (optické vlákno)
...tvorba soustavy signálů vyšších řádů, jež umožňují přenos většího počtu kanálů, než umožňuje PCM 1. řádu
- ...Historie
 - Standardizace hierarchií digitálních systémů vyšla z potřeb propojení digitálních telefonních ústředen
 - Nad signálem 1. řádu byly specifikovány vyšší řády, které postupně sdružují větší počet tel. kanálů na jedinou digitální přenosovou cestu
- Typy
 - Plesiochronní digitální hierarchie (PDH)
 - Synchronní digitální hierarchie (SDH)

Plesiochronní digitální hierarchie

• Vlastnosti

- Sdružované signály nemají definován pevný časový vztah oproti signálu vyššího řádu (asynchronní/plesiochronní sdružování)
- Prokládání po bitech
- Signály nižšího řádu lze získat opět postupným demultiplexováním (mnohonásobná multiplexace a demultiplexace může vést k degradaci signálu)



Sdružovací zařízení v evropské hierarchii multiplexuje 4 signály nižšího řádu a vkládá navíc pomocné informace:

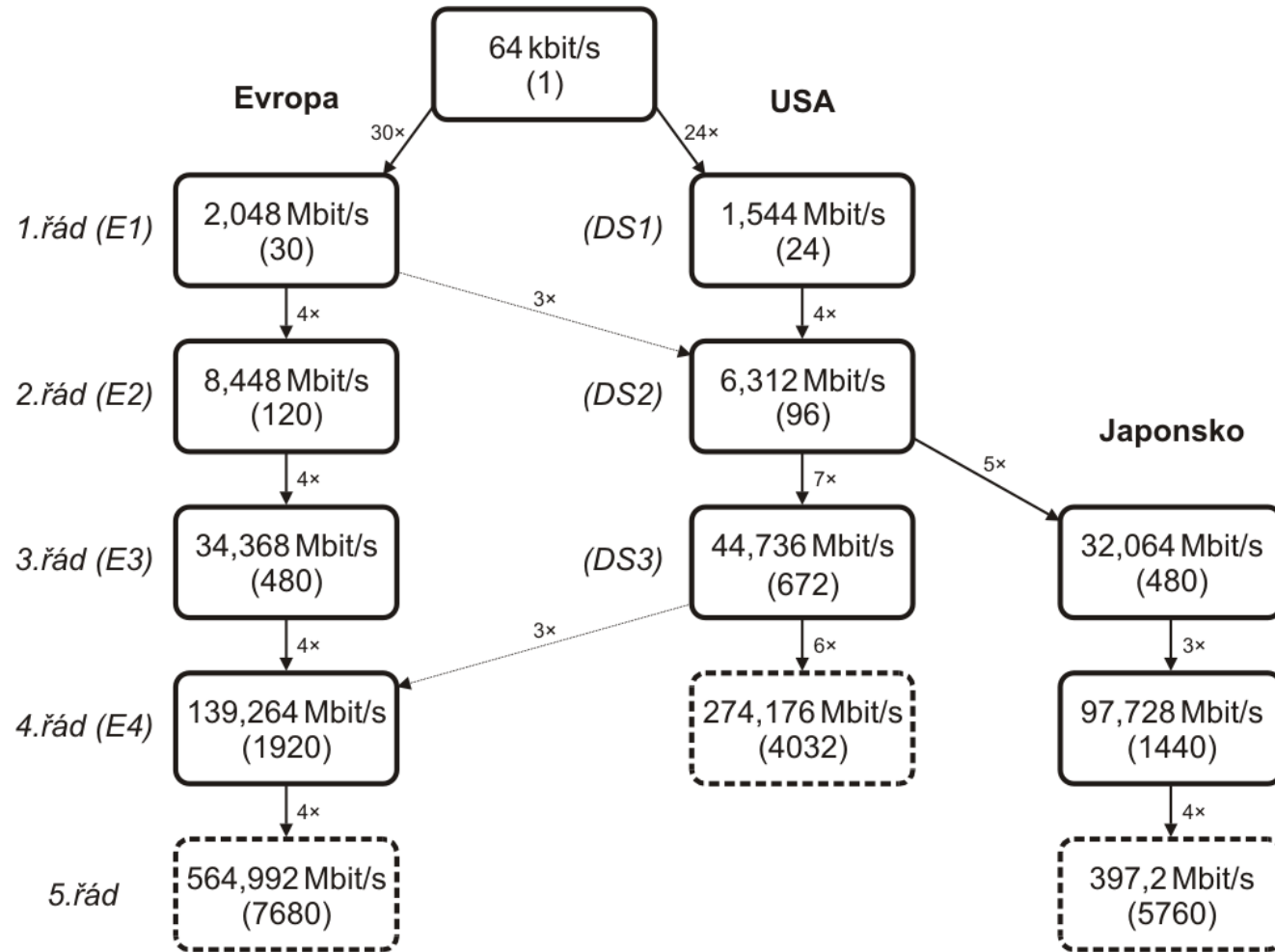
- skupina rámcové synchronizace
- vyrovnání přenosových rychlostí

Vyrovnávání přenosové rychlosti

- V signálu vyššího řádu je vyčleněna určitá rezerva pro odchylky přenosových rychlostí sdružovaných signálů - uvažuje se určitá diference přenosových rychlostí
- **Vyrovnávání přenosových rychlostí = stuffing**
- Rezervní bity = stuffingové bity
 - Přesně definované pozice
 - Využití je indikováno pomocí řídicích stuffingových bitu

Typy vyrovnávání přenosových rychlostí		
Záporný stuffing	$V_{\text{sdružovaný signál}} > V_{\text{vyšší rád}}$	Stuffingové bity obsazeny – užitečné bity
Kladný stuffing	$V_{\text{sdružovaný signál}} < V_{\text{vyšší rád}}$	Stuffingové bity nevyužity - výplň
Oboustranný stuffing	<i>Kombinace kladného a záporného</i>	

Multiplexní struktura PDH



Synchronní digitální hierarchie

- Růst nároků na kapacitu přenosových prostředků - potřeba vytvořit novou hierarchii
 - Rozmach přenosu dat a telefonního provozu
- Řešení
 - ...Další řád PDH – NEEFEKTIVNÍ A ANI TECHNICKY SCHŮDNÉ
 - Standardizována nová hierarchie, SDH, založená na odlišných principech sdružování
- **Vlastnosti**
 - SDH vychází z amerického standardu SONET (Synchronous Optical NETWORK)
 - Pevný časový vztahem mezi signálem vyššího a nižšího řádu (synchronní multiplexování)
 - Prokládání po bytech
 - Pomocí adresace informačního pole (ukazatel – Pointer, PTR) lze snadno získat žádaná data i v rámci signálů vyšších řádů
 - Nejnižší stupeň SDH začíná v oblasti, kde PDH končí
 - Standardizované přenosové médium - optické vlákno (přenosové rychlosti až desítky Gbit/s)
 - Standardizovaný způsob řízení přenosové sítě, pružné zajištění bezpečného provozu při poruchách

SDH - hierarchické stupně

Signály SDH - **synchronní transportní moduly STM-N** (...N udává hierarchický stupeň)

Značení	STM-0*	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64	STM-256
v_p [Mbit/s]	51,84	155,52	622,08	2488,32	9953,28	39813,12
Značení SONET	STS-1 (OC-1)	STS-3 (OC-3)	STS-12 (OC-12)	STS-48 (OC-48)	STS-192 (OC-192)	STS-768 (OC-768)

*Podstupeň STM-0 byl doplněn pro kompatibilitu se standardem SONET

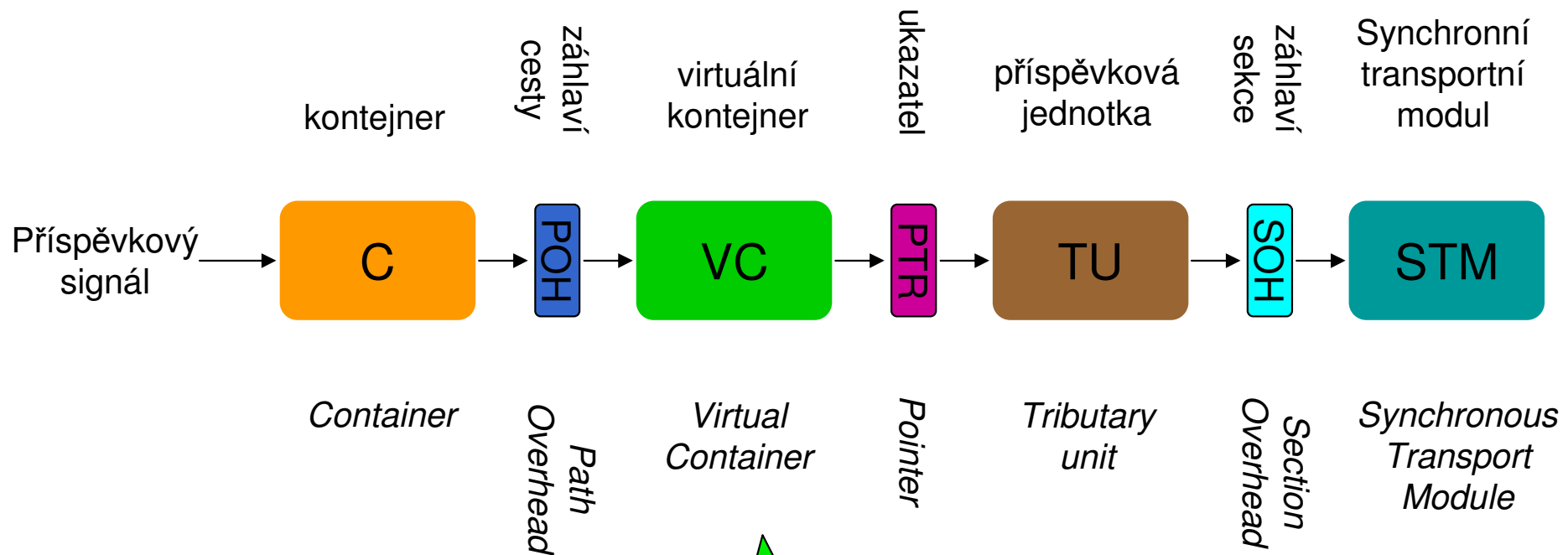
U všech hierarchických stupňů SDH je dodržována délka časového rámce 125 μ s (jako u PCM 1. řádu)

Signály vyšších řádů STM-N mají oproti STM-1 N -násobně vyšší kapacitní možnosti

Příspěvkové signály

- Typy příspěvkových signálů
 - PDH signály (Evropa, Amerika)
 - ATM buňky
 - IP pakety
 - Ethernet rámce
- **Mapování (mapping)**
 - Adaptace příspěvkového signálu do formátu signálu SDH
- **Mapování přenosových rychlostí příspěvkových signálů**
 - plesiochronních se provádí pomocí kladného/záporného stuffingu
 - synchronních se provádí pomocí pevných stuffingových symbolů

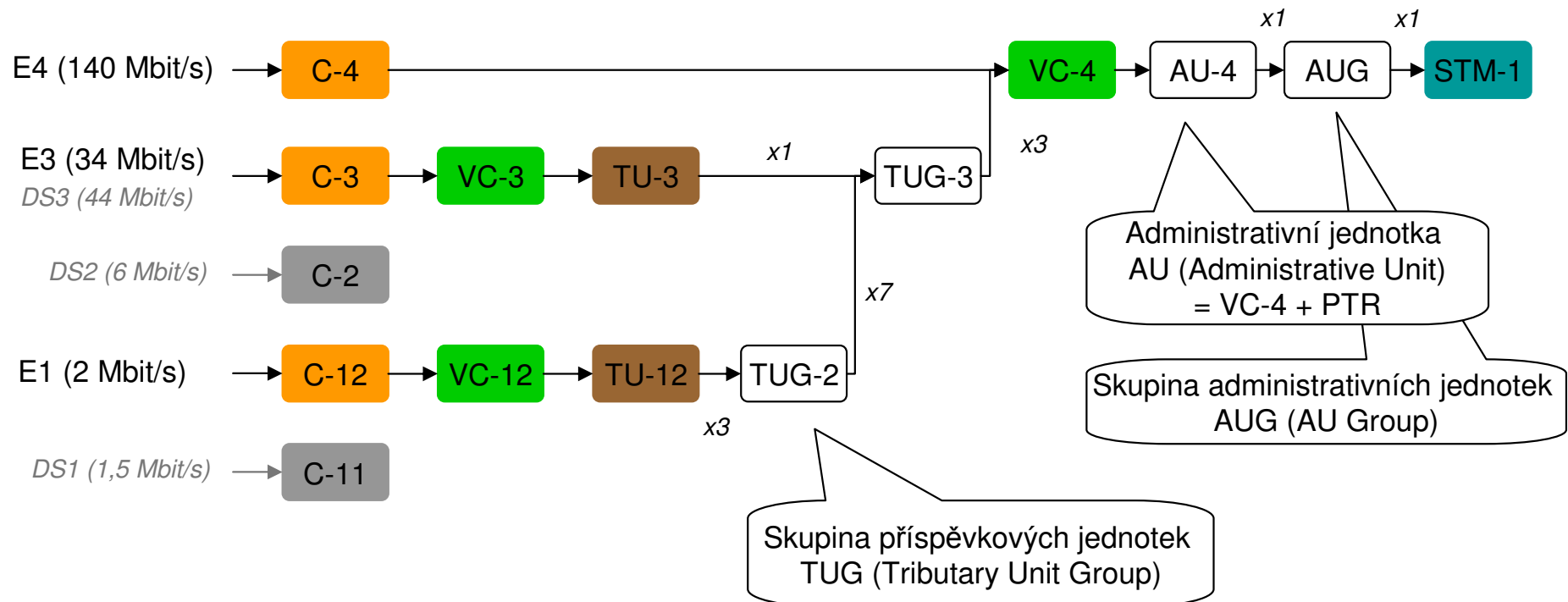
Multiplexování v SDH



POH – slouží k zabezpečení a kontrole přenosu VC v síti SDH (provází VC od jeho sestavení až po jeho rozebrání)

VC – nemá v informačním poli stlou polohu, poloha určena pomocí PTR

Vytvoření STM-1

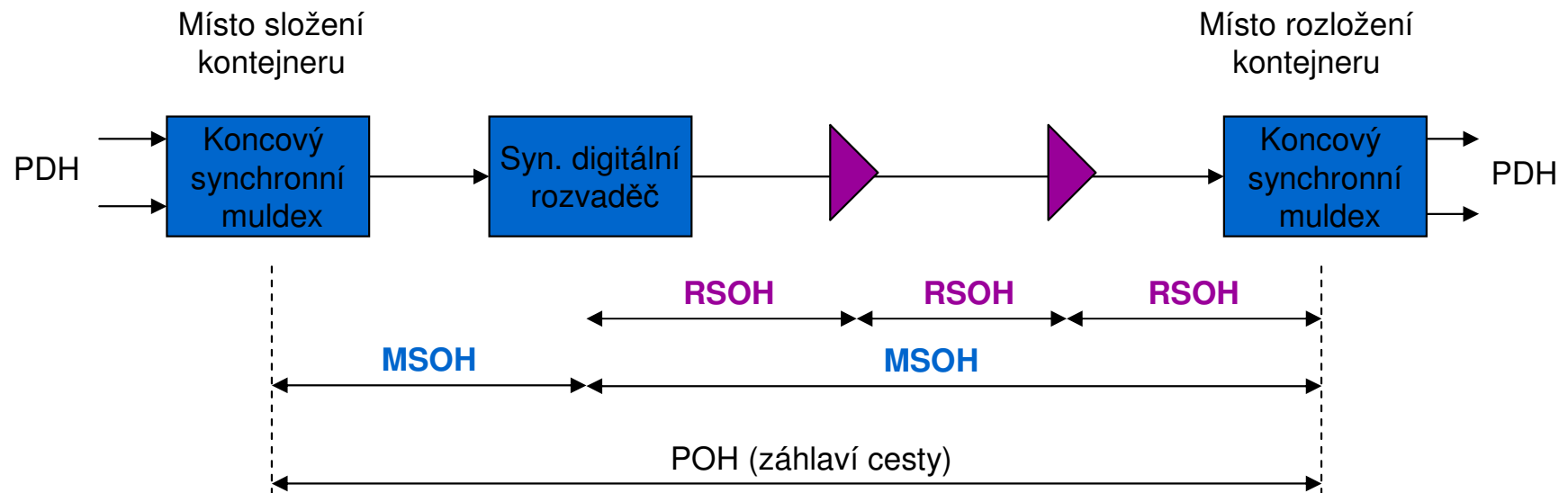


Poznámka

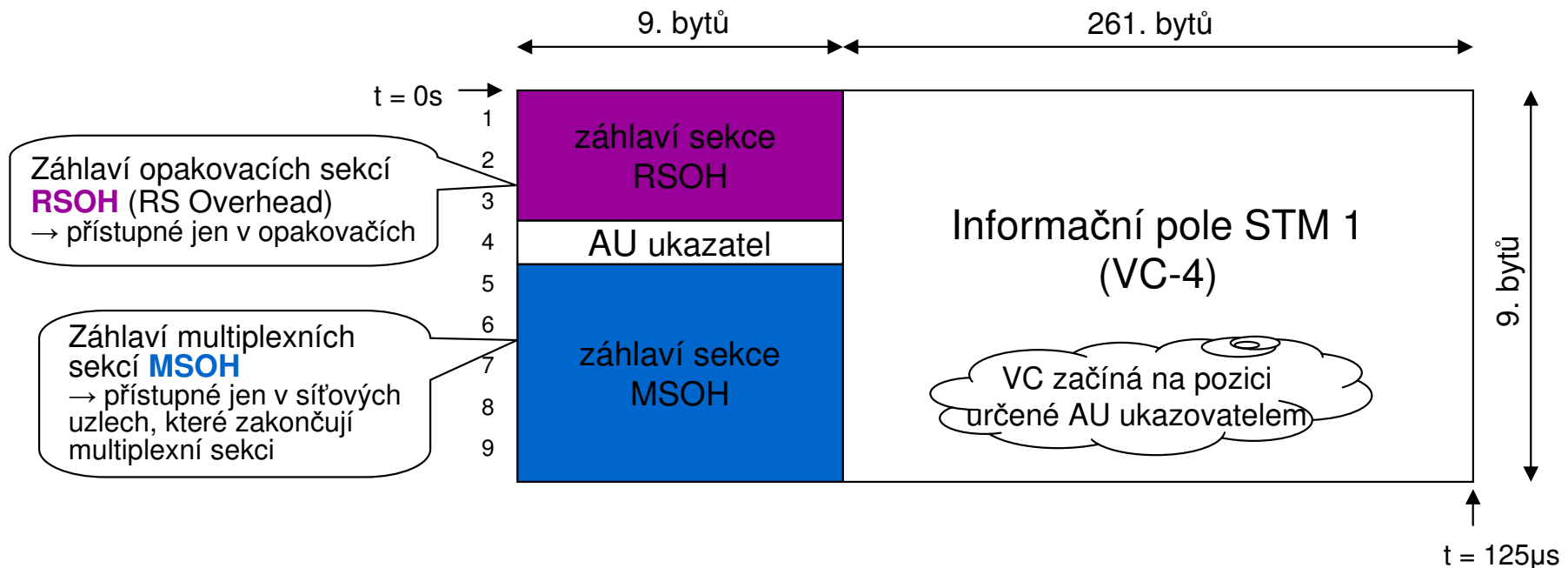
- Signál E2 se neuvažuje pro zjednodušení multiplexní struktury
- STM-1 (155 Mbit/s) může přenést E4 nebo pouze 3xE3 ($4xE3 < 140\text{Mbit/s}$) - výhodné vlastnosti SDH a u optického přenosového média nevadí (což neplatí pro rádio)

Struktura cesty SDH sítě

- Přenosový trakt
 - Multiplexní sekce (MS, Multiplex Section)
 - Opakovací sekce (RS, Regenerator Section)
- Sekce
 - Část sítě, kde nedochází k multiplexování/demultiplexování signálu STM



Struktura STM-1

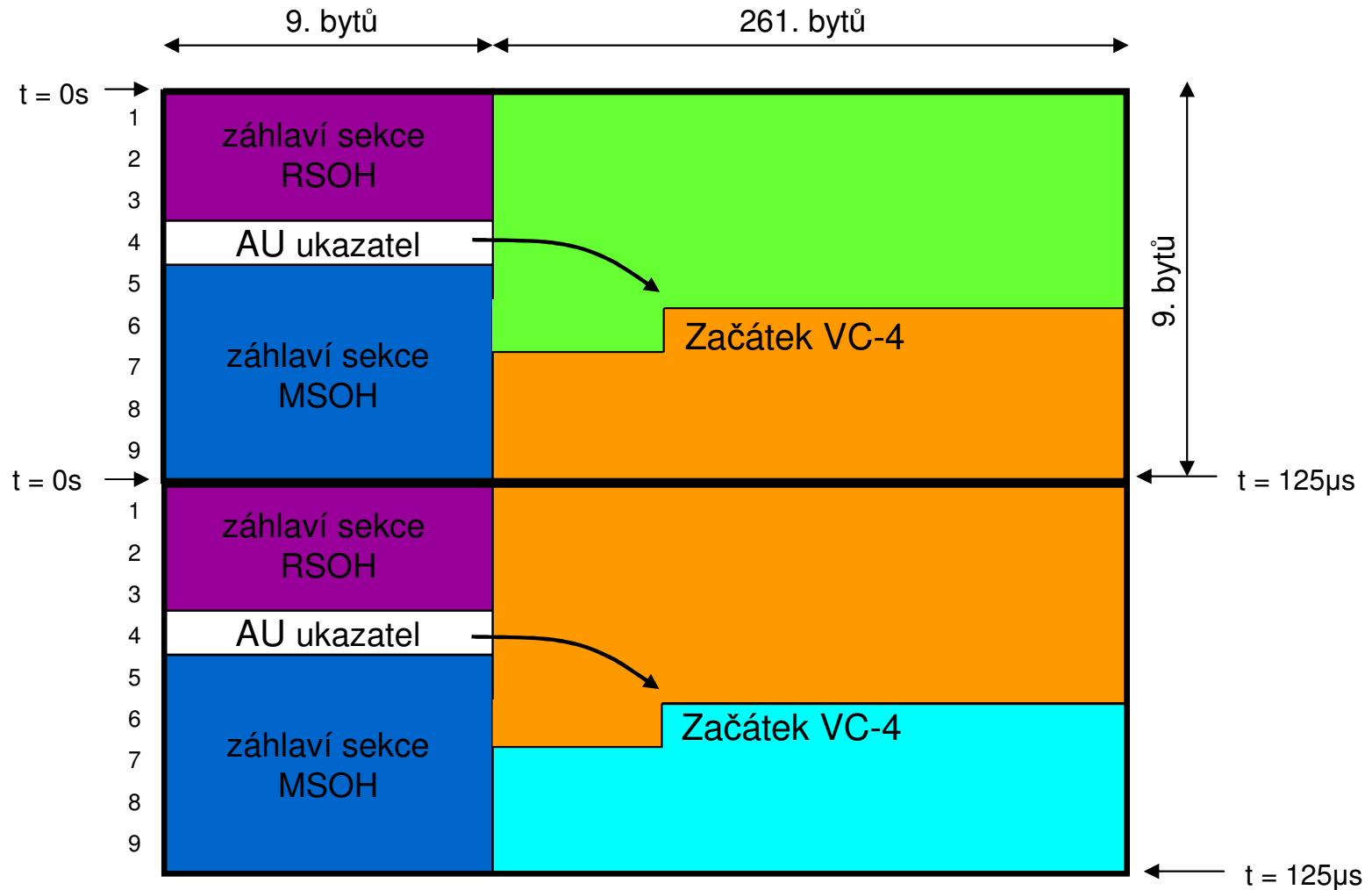


Přenosová rychlost $v_p = 270 * 9 * 8 * 8000 = 155,52 \text{ Mbit/s}$

Počet bitů v jednom STM-1 rámci

Vzorkovací kmitočet (1/125us)

Struktura STM-1



Sít'ové prvky SDH (1/2)

- Synchronní muldex SM (Synchronous Multiplex)

- koncový synh. muldex SMT (SM Terminal)
- vydělovací synch. muldex ADM (Add-Drop Multiplex)
- linkový synch. muldex SML (SM Line)
 - ...sdružení signálů nižšího řádu do signálu vyššího řádu
- rozdělovací synch. muldex SMH (SM Hubbing)
 - ...rozdělení signálů do více jak dvou směrů

- Opakovač (Regenerator)

- Synchronní digitální rozvaděč SDXC (SD Cross-Connect)

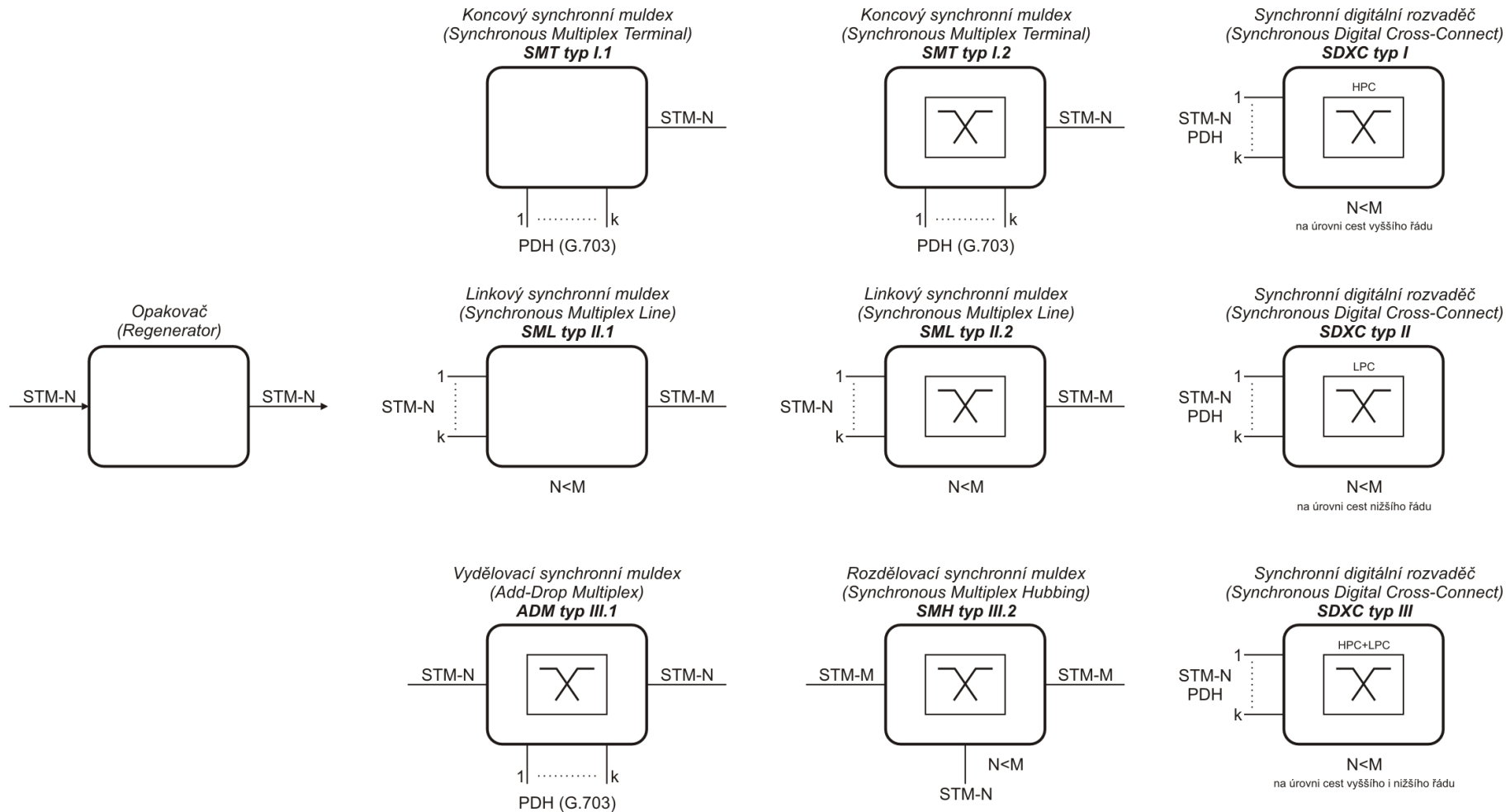
- s komutací jednotek cest vyššího řádu (AU-4)
- s komutací jednotek cest nižšího řádu (TU)
- s komutací jednotek cest nižšího a vyššího řádu

Časově
sdružují,
resp.
rozkládají
digitální
signály

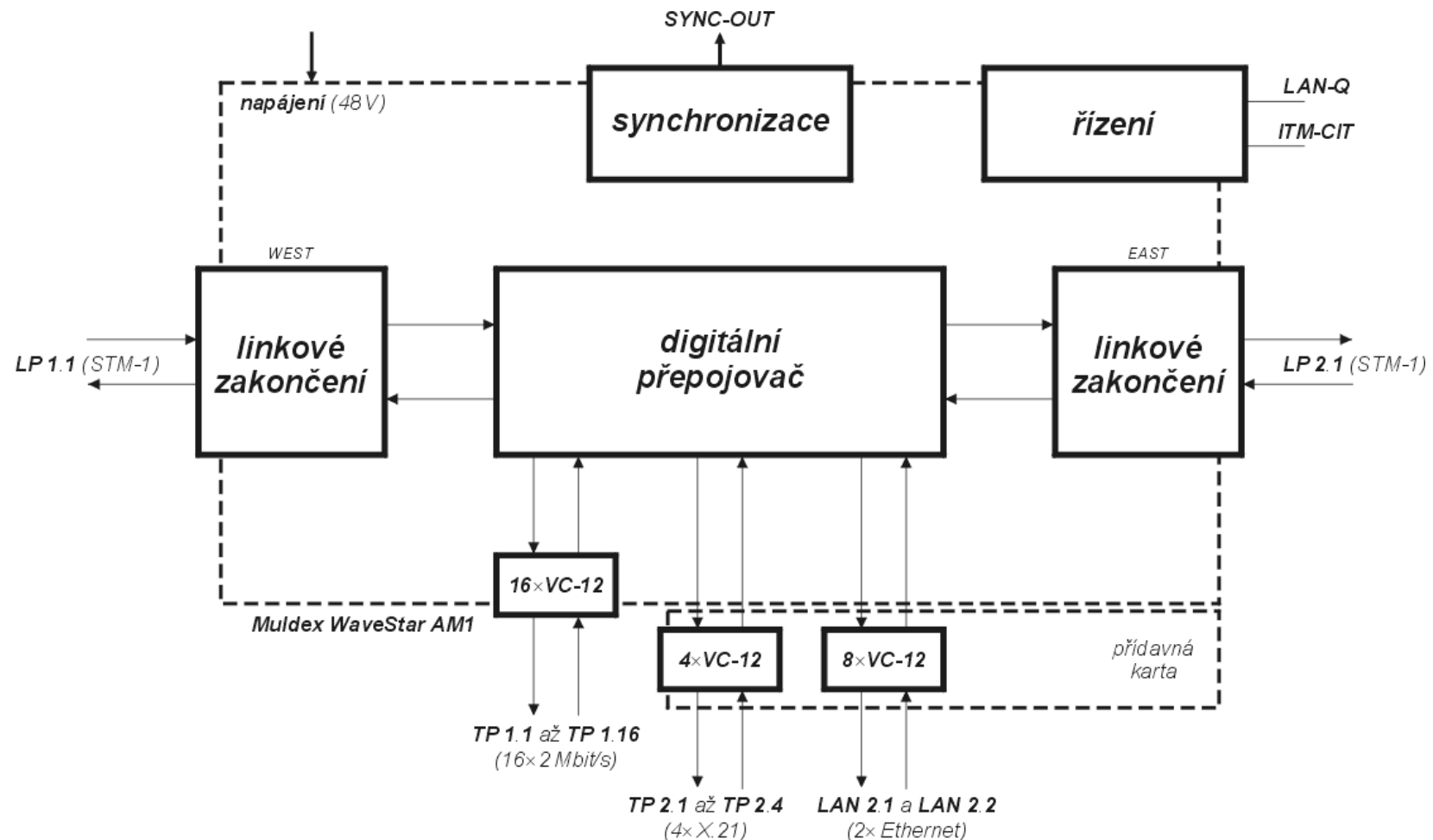
Regenerují
linkové
signály

Propojují
digitální
signály mezi
linkovými
trakty

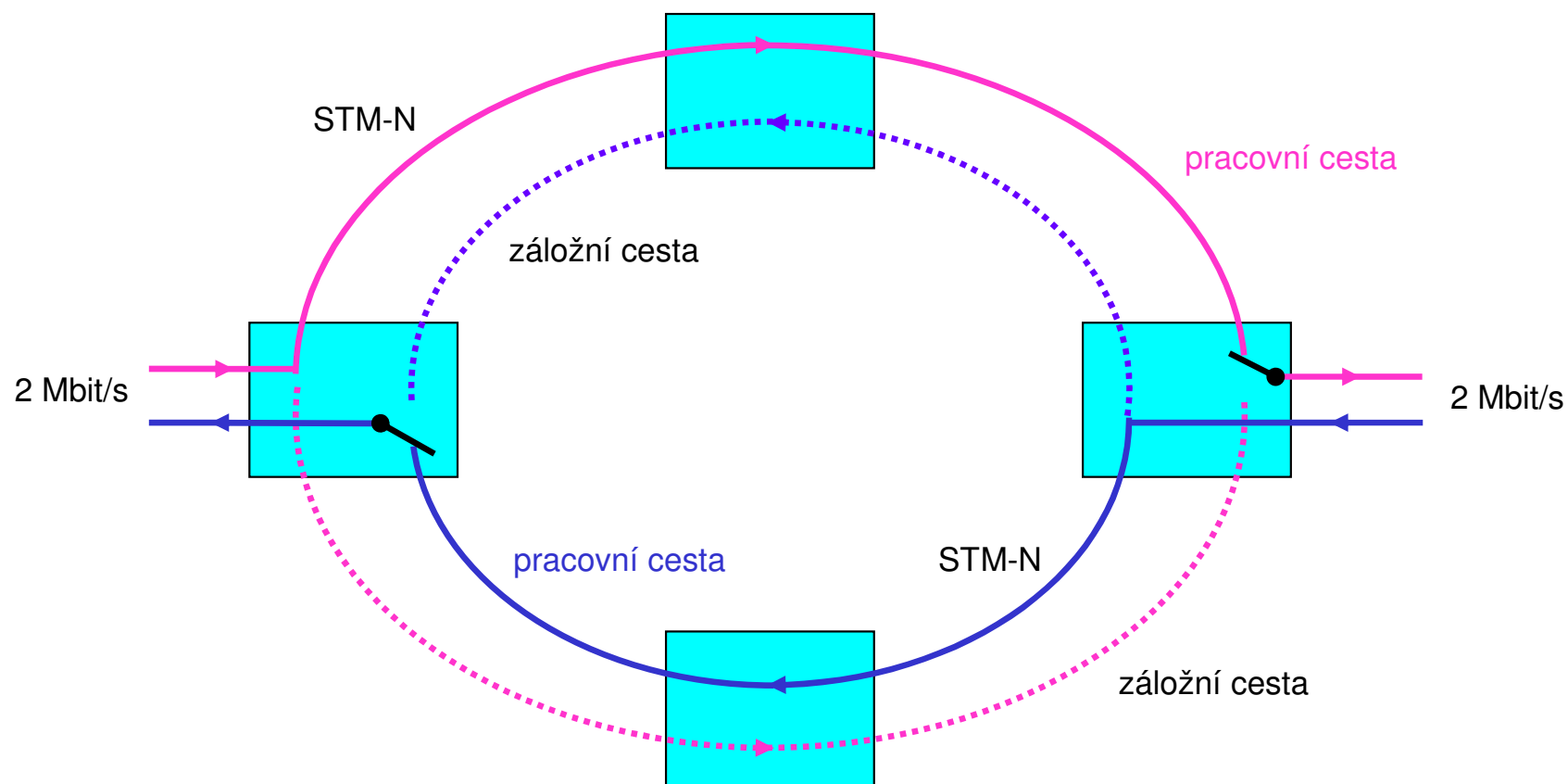
Sít'ové prvky SDH (2/2)



Blokové schéma Add-Drop muldexu



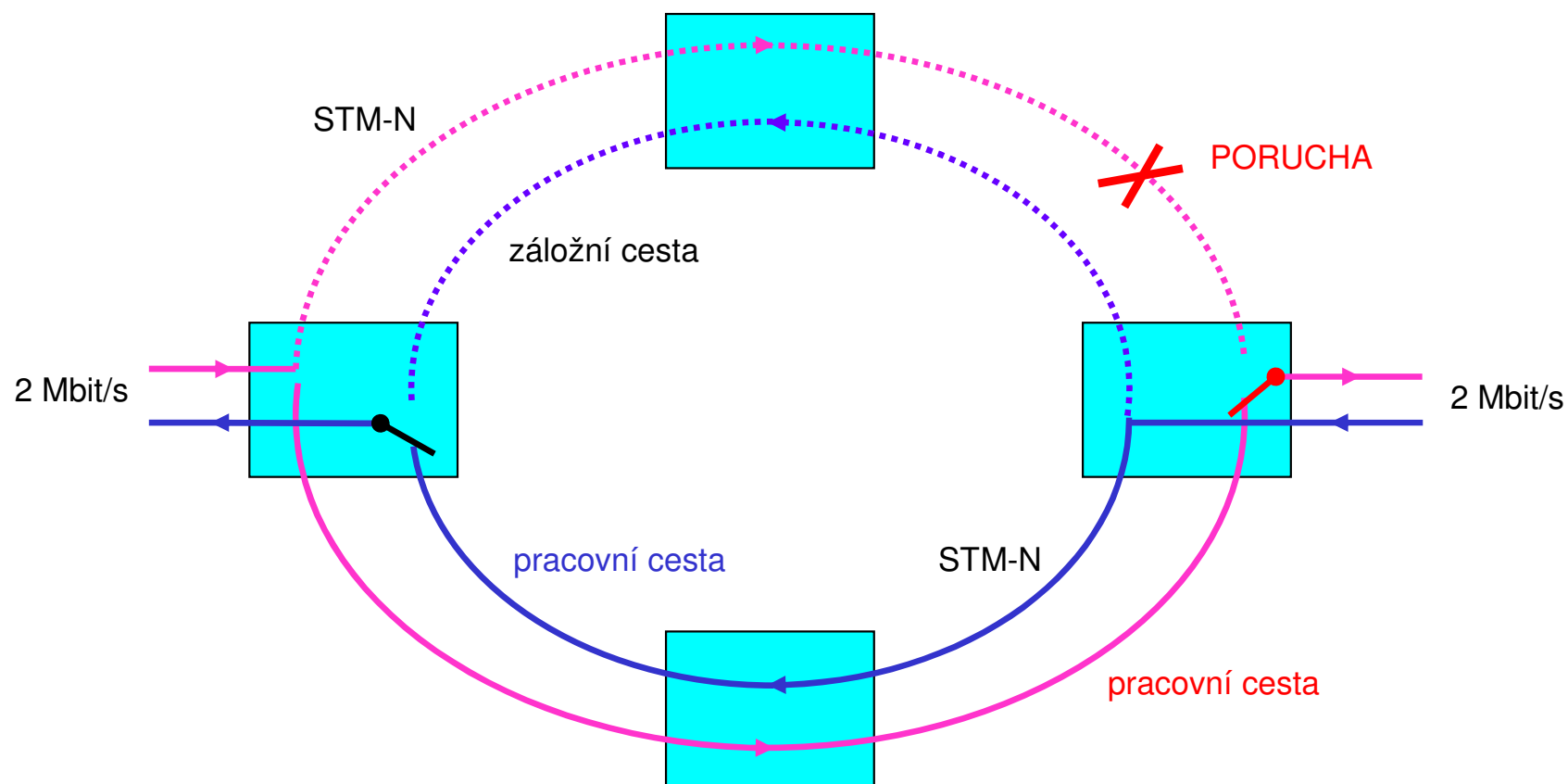
Síť SDH



Síť SDH → nejčastěji kruhová síť

- kruhová síť zajistí spolehlivější provoz v případě poruch (dvě cesty mezi body A a B)
- přenosová cesta – dvojice vláken (každé pro jeden směr přenosu)

Sít' SDH



Sít' SDH → nejčastěji kruhová síť

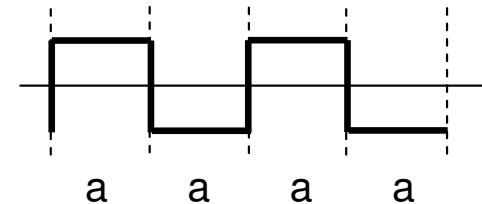
- kruhová síť zajistí spolehlivější provoz v případě poruch (dvě cesty mezi body A a B)
- přenosová cesta – dvojice vláken (každé pro jeden směr přenosu)

Modulační a přenosová rychlost

Modulační rychlost

Modulační rychlost (v_m) udává počet signálových prvků (a) vyslaných za sekundu (...odpovídá symbolové rychlosti v symbolech / s)

$$v_m = \frac{1}{a} \quad [Bd, s^{-1}]$$



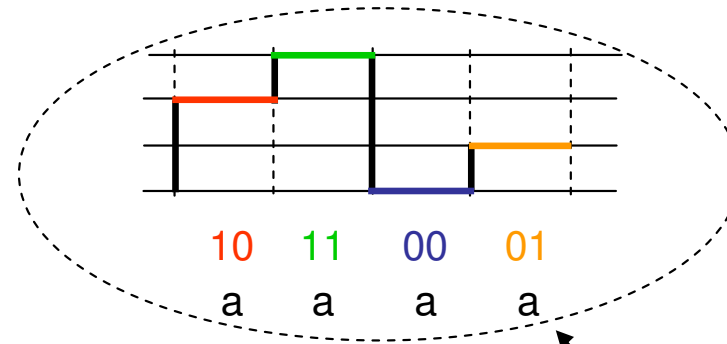
v_m určuje požadavky na mezní kmitočet f_m přenosového kanálu

$$v_m = \frac{1}{a} \leq 2 \cdot f_m$$

u daného kanálu nelze v_m zvyšovat nad hodnotu $2f_m$
(v praxi je třeba zachovat určitou rezervu)

Přenosová rychlost (1/2)

- Číslicový signál může obecně nabývat více než dvou stavů
- Signálový prvek
 - Bit
 - Dvojice bitů (dibit)
 - Trojice bitů (tribit)
 - Čtveřice bitů (kvadbit)
 - atd.



Přenosová rychlost: $v_p = v_m \log_2 m$ [bit / s]

m – počet stavů číslicové signálu

$m = 4$

Pro dvoustavový binární číslicový signál ($m=2$) $\Rightarrow v_m = v_p$

Přenosová rychlost (2/2)

...Zdálo by se, že je účelné volit max. počet stavů, abychom pro danou v_p obsadili co nejužší frek. pásmo (zvláště významný požadavek při přenosu po metalických vedeních neboť s rostoucí f značně roste útlum vedení).

ALE, počet stavů je limitován úrovní rušení, jelikož je nutné zajistit min. odstup sousedních stavů tak, aby byly bezchybně rozlišitelné.

Pro různé aplikace a přenosová prostředí je nutné zvolit vhodnou metodu přenosu (linkový kód, modulaci) tak, aby výkonové spektrum signálu zabíralo min. frek. pásmo při dodržení vyhovujícího odstupu signálu od šumu a při dodržení dalších specifických požadavků.

Linkové kódy



Linkové kódy (1/2)

- Přenos digitálního signálu v
 - Základním pásmu → překódování do vhodného linkového kódu
 - Přeloženém kmitočtovém pásmu → použití vhodné modulace
- Linkový kód
 - Vyjádření digitálního signálu v podobě, která je vhodná pro přenos telekomunikačním kanálem

Linkové kódy (2/2)

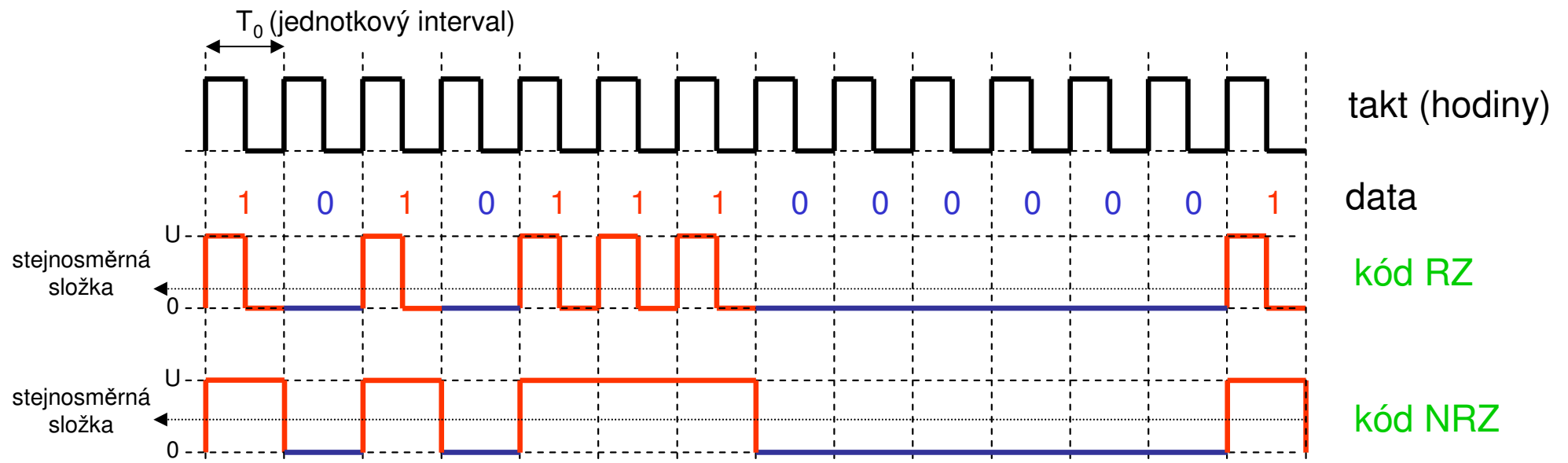
Přenos v základním pásmu začíná na frekvencích blízkých nule nebo obsahuje i stejnosměrnou složku

- Přenos se stejnosměrnou složkou
 - Kanál musí přenést i stejnos. složku, což vyžaduje galvanické spojení koncových zařízení
- Přenos bez stejnosměrné složky
 - Stejnos. složka je potlačena vhodným kódováním a kanál ji nemusí přenášet, musí však být schopen přenášet velmi nízké frekvence
 - ... tento způsob přenosu se v praxi často vyskytuje s použitím oddělovacích transformátorů (translátorů) v přenosové cestě → jejich použití je vynuceno např. požadavkem na galvanické oddělení zařízení a vedení, které je nutné z důvodu zachování symetrie párů kabelu proti zemi

Linkové kódy ...klasifikace

- Podle toho, zda se průběh v jednotkovém intervalu vrací k nulové úrovni nebo přechází přímo k druhému charakteristickému stavu
 - **Signály s návratem k nule** (RZ, *Return to Zero*)
 - **Signály bez návratu k nule** (NRZ, *Not Return to Zero*)
- Podle použité polarity
 - **Unipolární** → signálové prvky pouze jedné polarity
 - **Polární** → signálové prvky dvojí polarity
- Podle počtu úrovní
 - **Dvouúrovňové signály**
 - **Tříúrovňové signály**
 - bipolární (pseudotrojkové) - AMI, HDB3
 - trojkové - 4B3T
 - **Víceúrovňové**
 - 2B1Q

Linkové kódy ...RZ a NRZ



Signály RZ

- Menší výkon
- Širší spektrum
- Lepší synchronizační schopnosti
- Menší stejnosměrná složka
- Šířka signálového prvku (obvykle) = $T_0/2$

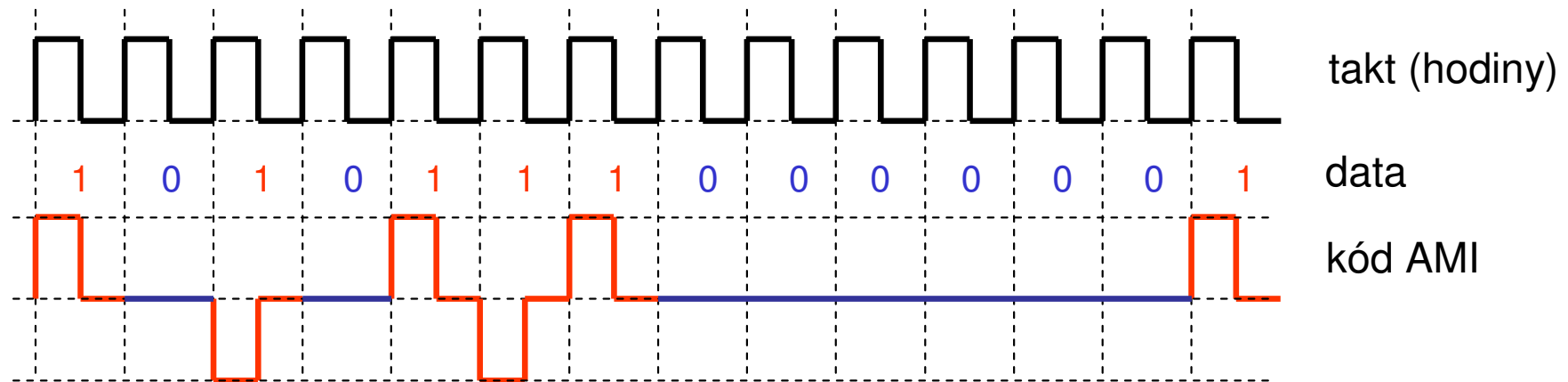
Signály NRZ

- Užší spektrum
- Stejnosměrná složka = $(U/2)$
- Šířka signálového prvku = T_0

Linkové kódy ...bipolární

- Bipolární (pseudotrojkové) kódy
- Zavedeny při nasazování digitálních přenosových systémů PCM 30/32 na metalické přenosové trakty
- Potlačují stejnosměrnou složku a řeší problémy s případnou ztrátou synchronizace

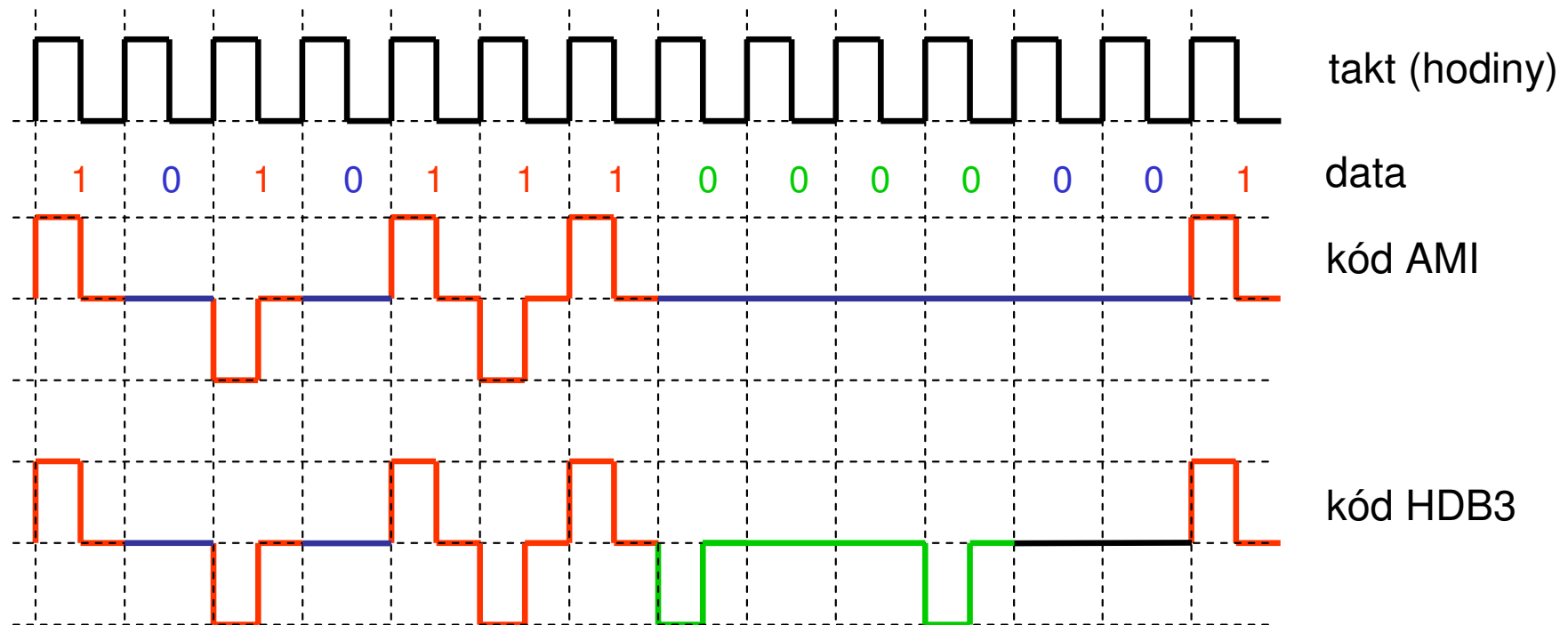
Linkové kódy ...bipolární, kód AMI



Kód AMI (Alternate Mark Inversion)

- 3 úrovně: 0 (nulová úroveň), 1 (střídavě úrovně $\pm U$)
- Rozhodování na přijímací straně vyžaduje dvě nenulové rozhodovací úrovně C1, C2
 - ...Nebo se nejprve převede na unipolární signál dvoucestným usměrněním
- Výhoda - možnost jednoduchého monitorování chybných prvků (chybný bit způsobí narušení bipolarity \Rightarrow objeví se dva prvky stejné polarity)
- Střídáním polarity u symbolů 1 je zajištěna taktovací složka, kterou lze využít pro synchronizaci ... při dlouhé posloupnosti 0 se nepřenáší takto info. a může nastat narušení synchronizace \Rightarrow řešení skrambler nebo zvláštní kódové skupiny

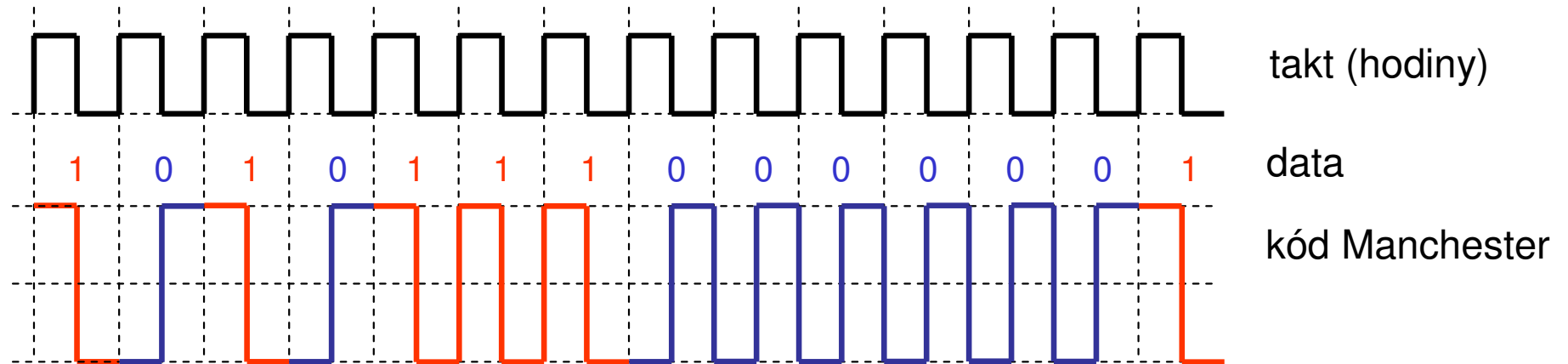
Linkové kódy ...bipolární, kód HDB3



Kód HDB3 (High Density Bipolar)

- Výskyt maximálně 3 nul za sebou
- ...Posloupnost 4 nul nahrazený skupinu 000V či 100V (V voleno tak, aby se narušilo pravidlo střídání \pm impulsů) → při dekódování se nahradí původní 4 nuly (pro rozpoznání se používá záměrné narušení bipolarity)
- Standardizace pro linková rozhraní 1. až 3.řádu (E1, E2 a E3) evropské PDH

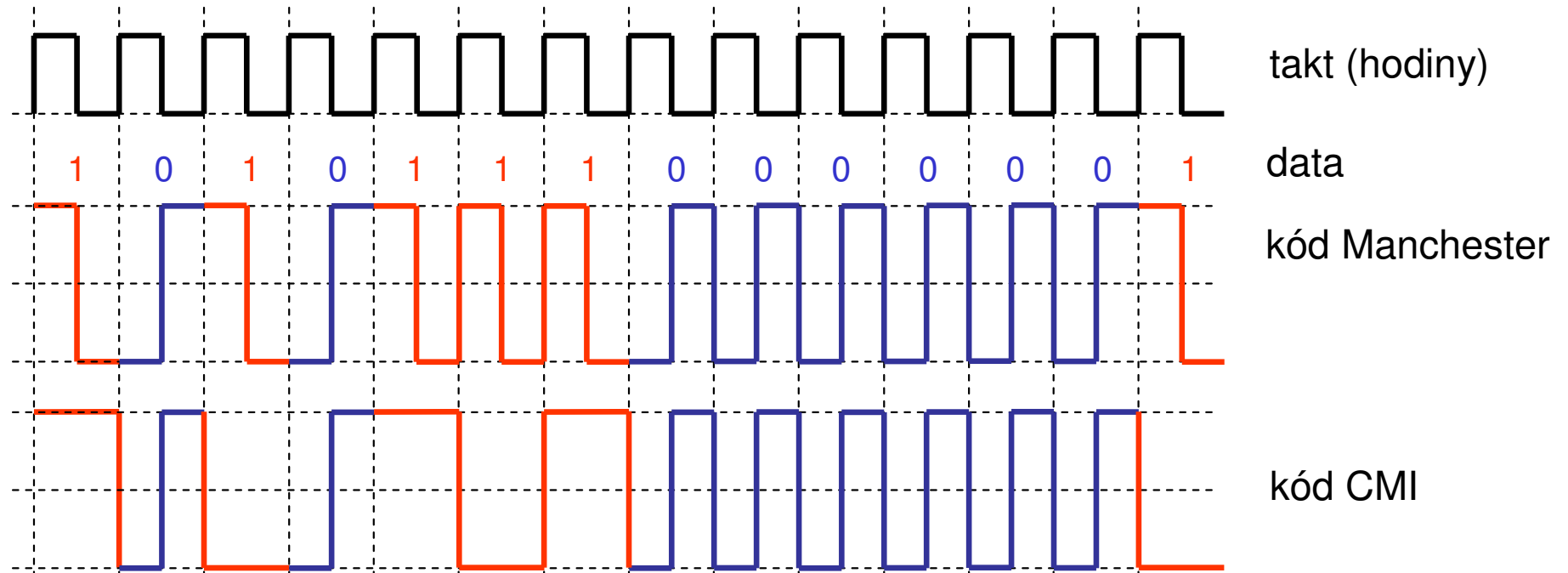
Linkové kódy ...2úrovňové polární NRZ kódy



Kód Manchester

- 0 ... změna z $-A$ na $+A$ v $T_0/2$ (vzestupná hrana)
- 1 ... změna z $+A$ na $-A$ v $T_0/2$ (sestupná hrana)
- ...možnost použití diferenční varianty (kódování změn mezi symboly 0 a 1)
- Použití - Síť LAN s přenosovou rychlostí 10 Mbit/s (Ethernet 10Base-T)

Linkové kódy ...2úrovňové polární NRZ kódy



Kód CMI (Coded Mark Inversion) ... vznikne překódováním z kódu AMI tak

- 0 ... změna z $-A$ na $+A$ v $T_0/2$ (vzestupná hrana)
- 1 ... střídavě $-A$ nebo $+A$ trvajících celý interval T_0
- Standardizován pro rozhraní PDH 4.řádu (E4)
- V unipolární variantě se používá i pro optická rozhraní (jeden stav = 0, druhý stav = max. optický tok)

Vícestavové linkové kódy

Vícestavové linkové kódy - snaha snížit v_m použitím více stavů (užší frek. pásmo)

- Čtyřúrovňový kód 2B1Q
 - Dibit (2 bity) vyjádřen jednou ze čtyř úrovní
 - $v_m = v_p / 2 \dots (m = 4)$
 - Použití – ISDN, HDSL přípojka

binárně	10	11	01	00
úroveň	+3 V	+1 V	-1 V	-3 V

Je-li třeba více snížit požadavky na fr. šířku pásma, je třeba zvýšit počet stavů.

Vícestavové metody pro přenos v základním pásmu se označují jako pulsně-amplitudová modulace PAM (např. osmistavová PAM, 8-PAM nebo šestnáctistavová, 16-PAM).

Modulace

- Digitální modulace - přenos digitálního signálu v přeloženém pásmu
 - Při digitálních modulacích nabývá modulační signál omezeného počtu diskrétních hodnot
 - Ovlivňování nosné vlny diskrétním signálem, v nejjednodušším případě nabývajícího dvou stavů, se nazývá klíčování (Shift Keying)
- Typy digitálních modulací
 - Amplitudové klíčování (ASK – Amplitude Shift Keying)
 - Frekvenční klíčování (FSK – Frequency Shift Keying)
 - Fázové klíčování (PSK –Phase Shift Keying)